ISSN 2226-910X

Вестник

Воронежского государственного УНИВЕРСИТЕТА ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ



2018 № 4

16+

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

16+

ВЕСТНИК ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

PROCEEDINGS OF THE VORONEZH STATE UNIVERSITY OF ENGINEERING TECHNOLOGIES

2018, Том. 80, № 4

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ОСНОВАН В 1938 ГОДУ
ВЫХОДИТ 4 РАЗА В ГОД

Воронеж
2018

Журнал включен в перечень изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Министерства науки и высшего образования Российской Федерации для опубликования диссертационных исследований

Письмо о Перечне рецензируемых научных изданий от 28.12.2018 г. (https://goo-gl.ru/4XHR)

Материалы журнала размещаются в
БД РИНЦ (www.elibrary.ru/title_about.asp?id=32905) л/д №6-01/2014 от 22.01.14г
БД AGRIS [ФАО ООН] (http://agris.fao.org) – выборочно,
ЭБС Лань (https://e.lanbook.com/journal/2217) л/д №09/09 от 09.09.13г
ЭБС IPRbooks л/д №894/15 от 20.11.15г
ЭБ КиберЛенинка (https://goo.gl/xNY2jK) л/д №56/31604-01 от 27.09.16г
БД ВИНИТИ РАН
НИС Соционет (https://socionet.ru/collection.xml?h=spz:neicon:vestnik-vsuet)
БД Directory of Open Access Journals (DOAJ) (https://goo.gl/GIdy7L)
БД Open Access scholarly Resources (ROAD) (https://goo.gl/HQEuOJ)
The European Library (TEL) (http://www.theeuropeanlibrary.org/tel4/search?query=2226-910X)
БД AcademicKeys (https://goo.gl/7f7nRO)
Research Bible (http://journalseeker.researchbib.com/view/issn/2226-910X)
БД EBSCO Publishing (http://search.ebscohost.com)

В журнале представлены статьи по следующим научным специальностям:
05.18.00 – Технология продовольственных товаров;
05.13.00 – Информатика, вычислительная техника;
05.17.00 – Химическая технология;
08.00.00 – Экономические науки

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА

Председатель (Главный редактор):
ЧЕРТОВ ЕВГЕНИЙ ДМИТРИЕВИЧ доктор технических наук, профессор, ректор, зав. кафедрой технической механики, почетный работник высшего профессионального образования РФ, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)
Заместитель председателя (Зам. главного редактора):
АНТИПОВ СЕРГЕЙ ТИХОНОВИЧ доктор технических наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ, заслуженный изобретатель РФ, проректор по научной и инновационной деятельности, зав. кафедрой машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

Chairman (Editor-in-chief):
CHERTOV EVGENY D. Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector, Head of the Department of Technical Mechanics, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Voronezh state university of engineering technologies (Voronezh, Russia)
Vice-chairman:
ANTIPOV SERGEY T. Doctor of Technical Sciences, professor, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, honored inventor of the Russian Federation, Vice Rector for scientific and innovative activity, Head of the Department of machines and equipment for the food industry, Voronezh state university of engineering technologies (Voronezh, Russia)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ РУБРИК

Процессы и аппараты пищевых производств

ОСТРИКОВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ (гл. ред.) доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, зав. кафедрой технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)
АЛЕКСЕЕВ ГЕННАДИЙ ВАЛЕНТИНОВИЧ доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики. (г. Санкт-Петербург, Россия)
АНТИПОВ СЕРГЕЙ ТИХОНОВИЧ доктор технических наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ, заслуженный изобретатель РФ, проректор по научной и инновационной деятельности; зав. кафедрой машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)
БРЕДИХИН СЕРГЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ доктор технических наук, профессор, кафедра процессы и аппараты перерабатывающих производств, Российский государственный аграрный университет - Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева (Москва, Россия)
ВАСИЛЕНКО ВИТАЛИЙ НИКОЛАЕВИЧ доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, декан технологического факультета, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

OSTRIKOV ALEKSANDR NIKOLAEVICH doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of Russia, Head of Department Technology of fats, processes and equipment of chemical and food production, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)
ALEKSEEV GENNADY VALENTINOVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technology of Fats, Processes and Apparatuses for Chemical and Food Production, St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics. (Saint-Petersburg, Russia)
ANTIPOV SERGEI TIKHONOVICH Honored Inventor of the Russian Federation, Doctor of Technical. Sciences, Professor, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, honored inventor of the Russian Federation, Vice Rector for scientific and innovative activity, Head of the Department of machines and equipment for the food industry, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)
BREDIKHIN SERGEY ALEKSEEVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Processes and Apparatuses of Processing Industries, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after them. K.A. Timiryazev (Moscow, Russia)

VASILENKO VITALII NIKOLAEVICH doctor of Technical Sciences, prof., Professor of the Department of Fats technology, processes and apparatuses of chemical and food industries, the Dean of the Technology Faculty, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

ДРАННИКОВ АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ доктор технических наук, доцент, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств, декан факультета пищевых машин и автоматов, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

DRANNIKOV ALEKSEJ VIKTOROVICH Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Machines and Apparatuses of Food Production, Dean of the Faculty of Food Machines and Automata, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

АХМЕДОВ МАГОМЕД ЭМИНОВИЧ доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой товароведения и экспертизы, Дагестанский государственный технический университет (Махачкала, Россия)

AHMEDOV MAGOMED EMINOVICH doctor of technical sciences, professor, head. Department of Commodity Science and Expertise, Dagestan State Technical University (Makhachkala, Russia)

ПАНФИЛОВ ВИКТОР АЛЕКСАНДРОВИЧ доктор технических наук, профессор, академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, почетный работник высшего профессионального образования РФ, профессор кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева (Москва, Россия)

PANFILOV VIKTOR ALEKSANDROVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of RAS, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Honored Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Professor of the Department Processes and Apparatuses of Processing Industries, Russian State Agrarian University -Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev (Moscow, Russia)

ШЕВЦОВ АЛЕКСАНДР АНАТОЛЬЕВИЧ доктор технических наук, профессор, заслуженный изобретатель РФ, профессор кафедры общепрофессиональных дисциплин, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (Воронеж, Россия)

SHEVTCOV ALEKSANDR ANATOLEVICH doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Inventor of the Russian Federation, Professor of General Professional Disciplines, Air Force Academy named after Prof. N. E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin (Voronezh, Russia)

ПРЕЙС ВЛАДИМИР ВИКТОРОВИЧ доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологические системы пищевых, полиграфических и упаковочных производств Тульский государственный университет, Политехнический институт, (Тула, Россия)

PRICE VLADIMIR VIKTOROVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technological Systems of Food, Printing and Packaging Production Tula State University, Polytechnic Institute, (Tula, Russia)

МАКСИМЕНКО ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ доктор технических наук, доцент, доцент кафедры технологические машины и оборудование, Астраханский государственный технический университет (Астрахань, Россия)

MAKSIMENKO YURI ALEKSANDROVICH Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Technological Machines and Equipment, Astrakhan State Technical University (Astrakhan, Russia)

Информационные технологии, моделирование и управление

БИТЮКОВ ВИТАЛИЙ КСЕНОФОНТОВИЧ (гл. ред.) доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры информационных и управляющих систем, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

BITIUKOV VITALII KSENOFONTOVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of Russia, Professor of the Department of Information and Control Systems, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

БУГАЕВ ЮРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры информационных технологий моделирования и управления, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

BUGAEV IURII VLADIMIROVICH doctor of Physical and Mathematical Sciences, prof., Professor of the Department of Information Technologies of Modeling and Management, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

ВИНЧЕНЦО СТОРНЕЛЛИ профессор, профессор кафедры электроники, Университет Л'Акуила (Аквила, Италия)

VINCENZO STORNELLI Professor, Professor of the Department of Electronics, University of L'Aquila (L'Aquila, Italy)

КУЗЬМИЦКИЙ ИОСИФ ФЕЛИЦИАНОВИЧ кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники, Белорусский государственный технологический университет (Минск, Беларусь)

KUZMITCKII IOSIF FELICIANOVICH Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of automation of industrial processes and electrical engineering, Belarusian State Technological University (Minsk, Belarus)

МАТВЕЙКИН ВАЛЕРИЙ ГРИГОРЬЕВИЧ доктор технических наук, профессор, зам. генерального директора ОАО «Корпорация «Росхимзащита», профессор кафедры информационных процессов и управления Тамбовский государственный технический университет (Тамбов, Россия)

MATVEYKIN VALERIY GRIGORYEVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy. General Director, Roskhimzashchita Corporation, Professor, Department of Information Processes and Management, Tambov State Technical University (Tambov, Russia) h-index = 6

МЕНЬШУТИНА НАТАЛЬЯ ВАСИЛЬЕВНА доктор технических наук, профессор, профессор кафедры кибернетика химико-технологических процессов Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева (Москва, Россия)

MENSHUTINA NATALYA VASILIEVNA Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Cybernetics of Chemical Engineering Processes The Russian Chemical and Technological University

МУРОМЦЕВ ДМИТРИЙ ЮРЬЕВИЧ доктор технических наук, профессор, проректор по научно-инновационной деятельности, профессор кафедры конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем Тамбовский государственный технический университет (Тамбов, Россия)

MUROMTSEV DMITRY YURYEVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Scientific and Innovation Activities, Professor of the Department of Design of Radioelectronic and Microprocessor Systems Tambov State Technical University (Tambov, Russia)

СКРЫПНИКОВ АЛЕКСЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой информационной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

SKRYPNIKOV ALEKSEJ VASILEVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Information Security, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

ТИХОМИРОВ СЕРГЕЙ ГЕРМАНОВИЧ доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных и управляющих систем, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

ХАУСТОВ ИГОРЬ АНАТОЛЬЕВИЧ доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой информационных и управляющих систем, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

ХВОСТОВ АНАТОЛИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ доктор технических наук, профессор, профессор кафедры общепрофессиональных дисциплин, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (Воронеж, Россия)

TIKHOMIROV SERGEI GERMANOVICH doctor of Technical Sciences, prof., Professor of the Department of Information and Control Systems, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

KHAUSTOV IGOR ANATOLEVICH Candidate of Technical Sciences, associate professor, Head of the Department of Information and Control Systems, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

KHVOSTOV ANATOLII ANATOLEVICH doctor of Technical Sciences, professor, Professor of General Professional Disciplines, Air Force Academy named after Prof. N. E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin (Voronezh, Russia)

Пищевая биотехнология

АНТИПОВА ЛЮДМИЛА ВАСИЛЬЕВНА (гл. ред.) доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

АГАФОНОВ ГЕННАДИЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

АКСЕНОВА ЛАРИСА МИХАЙЛОВНА доктор технических наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник ВНИИ кондитерской промышленности (Москва, Россия)

ВИКТОРОВА ЕЛЕНА ПАВЛОВНА доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной и инновационной деятельности Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции (Краснодар, Россия)

ГОЛУБЕВА ЛЮБОВЬ ВЛАДИМИРОВНА доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, профессор кафедры технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

ДОНЧЕНКО ЛЮДМИЛА ВЛАДИМИРОВНА доктор технических наук, профессор, профессор ВАК, профессор кафедры технологии хранения и переработки растениеводческой продукции, Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина (Краснодар, Россия)

КУЛЬНЕВА НАДЕЖДА ГРИГОРЬЕВНА доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

ПОЛЯКОВ ВИКТОР АНТОНОВИЧ доктор технических наук, профессор, академик РАН, директор ФГБУН ВНИИ Пищевой биотехнологии (Москва, Россия)

ИЗТАЕВ АУЕЛБЕК доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии хлебопродуктов и перерабатывающих производств, директор НИИ пищевых технологий, Алматинский Технологический Университет (Алматы, Казахстан)

ЛИСИЦЫН АНДРЕЙ БОРИСОВИЧ доктор технических наук, профессор, академик РАН, лауреат Государственной премии РФ, директор ФГБНУ "ВНИИМП им. В.М. Горбатова" (Москва, Россия)

МАГОМЕДОВ ГАЗИБЕГ ОМАРОВИЧ доктор технических наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ, зав. кафедрой технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

ПЕТРОВ АНДРЕЙ НИКОЛАЕВИЧ доктор технических наук, профессор, академик РАН, директор ФГБНУ ВНИИ Технологии консервирования (Видное, Московская обл., Россия)

ANTIPOVA LIUDMILA VASILEVNA doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Professor of the Department of technology of animal origin products, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

AGAFONOV GENNADII VIACHESLAVOVICH doctor of Technical Sciences, prof., Head of the Department of Technology of fermentation and sugar industries, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

AKSENOVA LARISA M. Doctor of Technical Sciences, professor, Academician-secretary of the Russian Academy of Agricultural Sciences, Chief research officer at the Research Institute of Confectionery Industry (Moscow, Russia)

VICTOROVA ELENA PAVLOVNA Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director for Scientific and Innovation Activities North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture and Wine, Krasnodar Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products (Krasnodar, Russia)

GOLUBEVA LIUBOV VLADIMIROVNA doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of the Higher School of Russia, Professor of the Department of technology of animal origin products, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

DONCHENKO LYUDMILA VLADIMIROVNA Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of VAK, Professor of the Department of Technology of Storage and Processing of Plant Production, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina (Krasnodar, Russia)

KULNEVA NADEZHDA GRIGOREVNA Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technology of fermentation and sugar industries, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

POLYAKOV VIKTOR ANTONOVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of the All-Russian Research Institute of Food Biotechnology (Moscow, Russia)

IZTAEV AUELBEK Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technology of bakeries and processing industries, director of the Research Institute of Food Technologies, Almaty Technological University (Almaty, Kazakhstan)

LISITSYN ANDREI B. Doctor Of Technical Sciences, Professor, Academician Of The Russian Academy Of Sciences, Laureate Of The State Prize Of The Russian Federation, Director Of The All-Russian Research Institute Of Meat Industry Named After V. M. Gorbatov. (Moscow, Russia)

MAGOMEDOV GAZIBEG OMAROVICH doctor of Technical Sciences, prof., Honored Worker of Higher Professional Education of the Russia, Head of the Department of Technology of bakery, confectionery, pasta and grain-processing industries, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

PETROV ANREJ NIKOLAEVICH Doctor of Technical Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of the All-Russian Scientific Research Institute of Preserving Technology (Vidnoe, Moscow Region, Russia)

РОДИОНОВА НАТАЛЬЯ СЕРГЕЕВНА доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой сервиса и ресторанного бизнеса, декан факультета экономики и управления, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

RODIONOVA NATALIA SERGEEVNA Doctor of Technical Science, Prof., Head of the Department of service and restaurant business, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

ХАТКО ЗУРЕТ НУРБИЕВНА доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции, Майкопский государственный технологический университе, (Майкоп, Россия)

KHATKO ZURET NURBIEVNA Doctor of Technical Sciences, associate professor, Head of the department of manufacturing technology and processing of agricultural products, Maikop State Technological University, (Maikop, Russia)

Химическая технология

КАРМАНОВА ОЛЬГА ВИКТОРОВНА (гл. ред.) доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой химии и химической технологии органических соединений и переработки полимеров, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

KARMANOVA OLGA VIKTOROVNA doctor of Technical Sciences, prof., Head of the Department of Chemistry and Chemical Technology of organic compounds and Polymers processing, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

ВАНИЕВ МАРАТ АБДУРАХМАНОВИЧ доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой химия и технология переработки эластомеров, Волгоградский государственный технический университет, кафедра химия и технология переработки эластомеров (Волгоград, Россия)

VANIEV MARAT ABDURAKHMANOVICH Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head. Department of Chemistry and Technology of Elastomer Processing, Volgograd State Technical University, Department of Chemistry and Technology of Elastomer Processing (Volgograd, Russia)

ДОРМЕКШИН ОЛЕГ БОРИСОВИЧ доктор технических наук, профессор, лауреат Премии Национальной академии наук Беларуси, отличник народного образования Республики Беларусь, проректор по научной работе, зав. кафедрой технологии неорганических веществ и общей химической технологии, Учреждение образования "Белорусский государственный технологический университет" (Минск, Беларусь)

DORMEKSHIN OLEG BORISOVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Laureate of the National Academy of Sciences of Belarus, Excellence in Public Education of the Republic of Belarus, Vice Rector for Research, head of the department of technology of inorganic substances and general chemical technology, Educational Establishment "Belarusian State Technological University" (Minsk, Belarus)

КУЧМЕНКО ТАТЬЯНА АНАТОЛЬЕВНА доктор химических наук, профессор, профессор РАН, зав. кафедрой физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

KUCHMENKO TATIANA ANATOLEVNA doctor of Chemical Sciences, Prof., Head of the Department of Physical and Analytical Chemistry, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

ЛЮСОВА ЛЮДМИЛА РОМУАЛЬДОВНА доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой химии и технологии переработки эластомеров имени Ф.Ф. Кошелева, Московский технологический университет МИРЭА, Московский государственный университет тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)

LYUSOVA LYUDMILA ROMUALDOVNA Doctor of Technical Sciences, Professor, Head. Department of Chemistry and Technology of Elastomers Processing named after F.F. Kosheleva, Moscow Technological University MIREA, Moscow State University of Fine Chemical Technologies. M.V. Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

МОКШИНА НАДЕЖДА ЯКОВЛЕВНА доктор химических наук, доцент, доцент кафедры физики и химии, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (Воронеж, Россия)

MOKSHINA NADEZHDA IAKOVLEVNA doctor of Chemical Sciences, associate professor, Associate professor of the Department of Physics and Chemistry, Air Force Academy named after Prof. N. E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin (Voronezh, Russia)

НИКУЛИН СЕРГЕЙ САВВОВИЧ доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии органического синтеза и высокомолекулярных соединений, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

NIKULIN SERGEI SAVVOVICH doctor of Technical Sciences, prof., Professor of the Department of Technology of Organic Synthesis and macromolecular compounds, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

ПРОКОПЧУК НИКОЛАЙ РОМАНОВИЧ доктор химических наук, профессор, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, зав. кафедрой технологии нефтехимического синтеза и переработки полимеров, Учреждение образования "Белорусский государственный технологический университет" (Минск, Беларусь)

PROKOPCHUK NIKOLAI ROMANOVICH Doctor of Chemical Sciences, Professor corresponding member of National Academy of Sciences of Belarus, Head of the department of Technology of petrochemical synthesis and polymers processing, Educational Establishment "Belarusian State Technological University" (Minsk, Belarus)

ПУГАЧЕВА ИННА НИКОЛАЕВНА доктор технических наук, доцент, профессор кафедры инженерной экологии, декан факультета экологии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

PUGACHEVA INNA NIKOLAEVNA doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Environmental Engineering, Dean of the Faculty of Ecology and Chemical Technology, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

СУХАНОВ ПАВЕЛ ТИХОНОВИЧ доктор химических наук, профессор, проректор по учебной работе, профессор кафедры физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

SUKHANOV PAVEL TIKHONOVICH doctor of Chemical Sciences, Professor, Vice-Rector for Academic Affairs; Professor of the Department of Physical and Analytical Chemistry, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

ФРАНЧЕСКО ВЕЛЬО профессор, профессор кафедры теории развития химических процессов, Университет Л'Акуила (Аквила, Италия)

FRANCESCO VEGLIO Professor, Professor of the Department of Theory of Chemical Processes development, University of L'Aquila, (L'Aquila, Italy)

Экономика и управление

ХОРЕВ АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ (гл. ред.) доктор экономических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, зав. кафедрой экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

БАЛЫХИН МИХАИЛ ГРИГОРЬЕВИЧ доктор экономических наук, доцент, и.о. ректора, Московский государственный университет пищевых производств (Москва, Россия)

БЕЛЯЕВА ГАЛИНА ВИКТОРОВНА доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой бухгалтерского учета и бюджетирования, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

БОГОМОЛОВА ИРИНА ПЕТРОВНА доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой управления, организации производства и отраслевой экономики, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

ВОРОНИН ВАЛЕРИЙ ПАВЛОВИЧ доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры теории экономики, товароведения и торговли, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

ЗАКШЕВСКИЙ ВАСИЛИЙ ГЕОРГИЕВИЧ доктор экономических наук, профессор, академик РАН, почетный работник агропромышленного комплекса России, директор ФГБУ НИИЭОАПК ЦЧР России (Воронеж, Россия)

МЕРЗЛИКИНА ГАЛИНА СТЕПАНОВНА доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой экономики и управления, Волгоградский государственный технический университет (Волгоград, Россия)

МИТЯКОВ СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ доктор физико-математичеких наук, профессор, директор института экономики и управления, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (Нижний Новгород, Россия)

МОРКОВИНА СВЕТЛАНА СЕРГЕЕВНА доктор экономических наук, профессор, проректор по науке и инновациям профессор кафедры Менеджмента и экономики предпринимательства, Кафедра экономики и финансов Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова (Воронеж, Россия)

САЛИКОВ ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

СИБИРСКАЯ ЕЛЕНА ВИКТОРОВНА доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры статистики, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова (Москва, Россия)

СОЛОПОВ ВЛАДИМИР АЛЕКСЕЕВИЧ доктор экономических наук, профессор, проректор по научной и инновационной работе Мичуринский государственный аграрный университет (Мичуринск, Россия)

KHOREV ALEKSANDR IVANOVICH Doctor of Economic Science, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Head of the Department of economic security and financial monitoring, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

BALYKHIN MIKHAIL GRIGORYEVICH doctor of economic sciences, associate professor, acting. Rector, Moscow State University of Food Production (Moscow, Russia)

BELIAEVA GALINA VIKTOROVNA Doctor of Economic Science, Professor, Head of the Department of Accounting and budgeting, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

BOGOMOLOVA IRINA PETROVNA Doctor of Economic Science, Professor, Head of the Department of management, organization of manufacture and branch economy, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

VORONIN VALERII PAVLOVICH Doctor of Economic Science, Professor, Professor of the Department of Economics Theory, commodity research and commerce, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

ZAKSHEVSKY VASILY GEORGIEVICH Doctor of Economics, Professor, Academician of the RAS, Honorary Worker of the Russian Agroindustrial Complex, Director of the "Research Institute of Economics and Organization of the Agro-Industrial Complex of the Central Black Earth Region of the Russian Federation" (Voronezh, Russia)

MERZLIKINA GALINA STEPANOVNA Doctor of economic sciences, professor, head. Department of Economics and Management, Volgograd State Technical University (Volgograd, Russia)

MITYAKOV SERGEY NIKOLAEVICH Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Director of the Institute of Economics and Management, Nizhny Novgorod State Technical University them. R.E. Alekseeva (Nizhny Novgorod, Russia)

MORKOVINA SVETLANA SERGEYEVNA Doctor of Economics, Professor, Vice-Rector for Science and Innovations, Professor of the Department of Management and Economics of Entrepreneurship, Department of Economics and Finance Voronezh State Forestry University. G.F. Morozova (Voronezh, Russia)

SALIKOV IURII ALEKSANDROVICH Doctor of Economic Science, Professor, Professor of the Department of economic security and financial monitoring, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

SIBIRSKAYA ELENA VIKTOROVNA Doctor of Economics, Professor, Professor of the Department of Statistics, Russian Economic University. G.V. Plekhanov (Moscow, Russia)

SOLOPOV VLADIMIR ALEKSEEVICH Doctor of Economics, Professor, Pro-Rector for Scientific and Innovation Work Michurinsky State Agrarian University (Michurinsk, Russia)

Официальный сайт «Вестник ВГУИТ» **www.vestnik-vsuet.ru**

Подписной индекс издания в агентстве "Роспечать" 70927

Ответственный секретарь: ДЕРКАНОСОВА А.А. (эл. почта: post@vestnik-vsuet.ru)

Учредитель: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-56830 от 29 января 2014 г.

Адрес университета, редакции, издательства и отдела полиграфии ФГБОУ ВО «ВГУИТ»
394036, Воронеж, пр. Революции д.19 ауд.11
тел./факс: (473) 255-37-16
E-mail: post@vestnik-vsuet.ru

Сдано в набор 03.12.2018. Подписано в печать 14.12.2018
Выход в свет: 17.12.2018
Формат 70×100 1/8.
Усл. печ. л. 62,25 Тираж 1500 экз. Заказ.
Цена – свободная.

© ФГБОУ ВО «Воронеж. гос. ун-т инж. технол.», 2018

CONTENTS

PROCESSES AND APPARATUSES OF FOOD ENGINEERING

Antipov S.T., Ovsyannikov V.Yu., Korchinskij A.A. Kinetic patterns and optimization of the process of concentration by freezing the blood of cattle 12

Poymanov V.V., Grishanova D.S., Antipov S.T. Investigation of the processes of freezing and freeze-drying of bacterial concentrates for the dairy industry 19

Berezovskiy Yu.M., Korolev I.A., Agafonkina I.V., Sarancev T.A. Investigation of the effect of beef moisture content on the amount of bound moisture with the calorimetric method 25

Borodulin D.M., Shushpannikov A.B., Zorina T.V., Shushpannikov E.A., Ivanets V.N. Determination of the smoothing ability of the vibration mixer on the basis of the correlation analysis 30

Drannikov A.V., Titov S.A., Belomyltseva D.V., Korysheva N.N., Kostina D.K., Davydov A.M. Research of influence of parameters of process of drying of an apple residue on an exit of pectinaceous substances 35

Zharkova I.M., Safonova Ju.A., Samokhvalov A.A. The study of the effect of processing parameters of amaranth grains before grinding on the properties of the obtained flour 41

Shorstkii I.I., Khudyakov D.A. Pulsed electric field pre-treatment efficiency analysis in processes of biomaterials drying 49

Machyhin S.A., Ryndin A.A., Vasiliev A.M., Streljuhina A.N. Movement of the top layer of the grain mixture on the vibrating grooved surface 55

Maytakov A.L., Popov A.M., Vetrova N.T., Beryazeva L.N., Zverikova M.A. Modeling of manufacturing technologies for multicomponent granulated products 63

INFORMATION TECHNOLOGIES, MODELLING AND CONTROL

Vasilenko V.N., Sidorenko A.S., Veretennikov A.N., Yarygin A.V. Program realization of the kinematic and power calculation of a four-stroke engine 69

Vasechkin M.A., Egorov S.V., Kolomensky A.B., Chertov E.D. Low-cycle fatigue of welded structures made from domestic and imported materials 75

Korobova L.A., Gladkikh T.V. Development of a decision support system for the diagnosis of diseases based on statistical data research 80

Kuzichkin A.A., Saveleva Ju.O., Kuzovenkov L.S. Development of an automated control system for the reactor of motor oil production 90

Skrypnikov A.V., Khvostov V.A., Chernyshova E.V., Samtsov V.V., Abasov M.A. Rationing requirements to the characteristics of software tools to protect information 96

Bugaev Yu.V., Korobova L.A., Tolstova I.S., Demina Yu.A. Multicriteria model of the process of crushing rock 111

Surovtsev A.S., Awtzinov I.A., Turovsky Ya.A., Borzunov S.V. Model for improving the reliability of safety systems in the technological processing of hazardous industries 116

Likhacheva L.B., Nazina L.I., Lomanova A.V., Chernykh N.A. Information model of production system management 128

Zarochentsev V.M., Kondratenko T.V., Makoeva A.K. Methods of statistical analysis stationary kinetic model ideal mixing cell 132

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Антипов С.Т., Овсянников В.Ю., Корчинский А.А. Кинетические закономерности и оптимизация процесса криоконцентрирования крови крупного рогатого скота 12

Пойманов В.В., Гришанова Д.С., Антипов С.Т. Исследование процессов замораживания и вакуум-сублимационной сушки бактериальных концентратов для молочной отрасли 19

Березовский Ю.М., Королев И.А., Агафонкина И.В., Саранцев Т.А. Исследование влияния влагосодержания говядины на количество связанной влаги калориметрическим методом 25

Бородулин Д.М., Шушпанников А.Б., Зорина Т.В., Шушпанников Е.А., Иванец В.Н. Определение сглаживающей способности вибрационного смесителя на основе корреляционного анализа 30

Дранников А.В., Титов С.А., Беломыльцева Д.В., Корышева Н.Н., Костина Д.К., Давыдов А. М. Исследование влияния параметров процесса сушки яблочных выжимок на выход пектиновых веществ 35

Жаркова И.М., Сафонова Ю.А., Самохвалов А.А. Исследование влияния параметров обработки зерна амаранта перед помолом на свойства полученной муки 41

Шорсткий И.А., Худяков Д.А. Оценка эффективности сушки биоматериала с предварительной обработкой импульсным электрическим полем 49

Мачихин С.А., Рындин А.А., Васильев А.М., Стрелюхина А.Н. Движение верхнего слоя зерновой смеси на вибрирующей рифленой поверхности 55

Майтаков А.Л., Попов А.М., Ветрова Н.Т., Берязева Л.Н., Зверикова М.А. Моделирование технологий производства многокомпонентных гранулированных продуктов 63

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ

Василенко В.Н., Сидоренко А.С., Веретенников А.Н., Ярыгин А.В. Программная реализация кинематического и силового расчета четырехтактного двигателя 69

Васечкин М.А., Егоров С.В., Коломенский А.Б., Чертов Е.Д. Малоцикловая усталость сварных конструкций, изготовленных из отечественных и импортных материалов 75

Коробова Л.А., Гладких Т.В. Разработка системы поддержки принятия решений для диагностики заболеваний на основе исследований статистических данных 80

Кузичкин А.А., Савельева Ю.О., Кузовенков Л.С. Разработка автоматизированной системы управления реактором производства моторного масла 90

Скрыпников А.В., Хвостов В.А., Чернышова Е.В., Самцов В.В., Абасов М.А. Нормирование требований к характеристикам программных систем защиты информации 96

Бугаев Ю.В., Коробова Л.А., Толстова И.С., Демина Ю.А. Многокритериальная модель процесса дробления горных пород 111

Суровцев А.С., Авцинов И.А., Туровский Я.А., Борзунов С.В. Модель для повышения надежности систем безопасности в технологических процессах опасных производств 116

Лихачева Л.Б., Назина Л.И., Ломанова А.В., Черных Н.А. Информационная модель управления производственной системой 128

Зароченцев В.М., Кондратенко Т.В., Макоева А.К. Методика статистического анализа стационарной кинетической модели ячейки идеального смешения 132

FOOD BIOTECHNOLOGY

Antipova L.V., Storublevtsev S.A., Piskova M.A., Himishev Yu.Z. Protein of fish origin – a source of health and beauty 138

Novikova I.V., Yuritsyn I.A., Muravev A.S. Review: *Brettanomyces* yeasts in beer technology 145

Belyaeva L.I., Ostapenko A.V., Labusowa V.N., Sysoeva T.I. The state of the I crystallization massecuite food system with the cumulative effect of surfactants, sugar decolorant, descaling agent 151

Kondratenko V.V., Kondratenko T.Yu., Tsaryova M.A., Davidova A.Yu., Alabina N.M. On the molecular factors of sugar beet pulp polyglycans ensuring their water-holding capacity 156

Nuriakhmetova I.A., Bolotova A.A., Sindryavkina V.S., Dokuchaeva I.S. Functional dairy product 164

Agafonov G.V., Chusova A.E., Kovalchuk N.S., Zuyeva N.V. The possibility of buckwheat application in the fermented malt technology 170

Merenkova S.P., Potoroko I.Yu., Semizdralova V.V. Development of sausage bread technology with a functional orientation based on flax seed products 177

Sanzheev A.P., Mikhina A.A., Sevko D.A., Sevko A.V., Vorozheykin S.B., Anokhina E.P., Korotaeva A.A. Existing problems and ways of their solution in the analysis of amino acid composition 185

Bibikov S.O., Shapovalov S.O., Kornilova E.V., Vorozheykin S.B., Sanzheev A.P., Sevko A.V. Influence of multicomponent bacterial symbiotic substance on productive indices of pigs and metabolism 190

Ashinova A.A. Antioxidant properties of different pectin-containing solutions 199

Kondratyev N.B., Kazantsev E.V., Osipov M.V., Rudenko O.S., Krylova E.N. Determination of sources of sulfur dioxide in confectionery 203

Ilyuhina N.V., Kolokolova A.Yu. Patterns of inhibition of the culture of *Salmonella* 209

Linovskaya N.V., Mazukabzova E.V., Kondratyev N.B. Scientific and practical results of a comprehensive assessment of quality indicators of cocoa processing products 213

Romanov V.A., Barakova N.V. Regulating a distilled malt spirit fractioning process using Harrington's desirability function 219

Dolmatova O.I., Rudometkina K.A. Technology of acid-bearing oil with phytocomponents 225

Khristyuk A.V., Kasyanov G.I. Prospects of creation of alcohol-free drinks on light water 229

Sapozhnikov A.N., Kopylova A.V., Krainova Yu.O., Krainov S.A. The prospects of using spinach in flour and bakery products 234

Nilova L.P., Malyutenkova S.M., Tverskoi V.R. Regional features of the formation of the antioxidant properties of black tea 240

Zhukov V.G., Lukin N.D. The development of the notions of deformation and strength properties of potato tubers flesh 247

Belyaev A.G., Kovaleva A.E., Pyanikova E.A. The influence of fireweed powder on the quality of wheat bread 254

Shentsova E.S., Vostroilov A.V., Kurchaeva E.E., Maksimov I.V. Development of technological approaches to obtaining meat systems based on rabbit breeding resources and plant composites 259

ПИЩЕВАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ

Антипова Л.В., Сторублевцев С.А., Пискова М.А., Химишев Ю.З. Белковые ресурсы рыбного происхождения – источник здоровья и красоты 138

Новикова И.В., Юрицын И.А., Муравьев А.С. Обзор: дрожжи рода *Brettanomyces* в технологии пива 145

Беляева Л.И., Остапенко А.В., Лабузова В.Н., Сысоева Т.И. Состояние пищевой системы утфеля I кристаллизации при совокупном действии ПАВ, деколоранта сахара, антинакипина 151

Кондратенко В.В., Кондратенко Т.Ю., Царёва М.А., Давыдова А.Ю., Алабина Н.М. О молекулярных факторах полигликанов свекловичного жома, определяющих их водоудерживающую способность 156

Нуриахметова И.А., Болотова А.А., Синдрявкина В.С., Докучаева И.С. Кисломолочный продукт функциональной направленности 164

Агафонов Г.В., Чусова А.Е., Ковальчук Н.С., Зуева Н.В. Возможность применение гречихи в технологии ферментированного солода 170

Меренкова С.П., Потороко И.Ю., Семиздралова В.В. Разработка технологии колбасного хлеба функциональной направленности на основе продуктов переработки семян льна масличного 177

Санжеев А.П., Михина А.А., Севко Д.А., Севко А.В., Ворожейкин С.Б., Анохина Е.П., Коротаева А.А. Существующие проблемы и пути их решения при анализе аминокислотного состава 185

Бибиков С.О., Шаповалов С.О., Корнилова Е.В., Ворожейкин С.Б., Санжеев А.П., Севко А.В. Влияние поликомпонентной бактериальной симбиотической субстанции на продуктивные показатели свиней и обмен веществ 190

Ашинова А.А. Антиоксидантные свойства разных пектиносодержащих растворов 199

Кондратьев Н.Б., Казанцев Е.В., Осипов М.В., Руденко О.С., Крылова Э.Н. Определение источников поступления диоксида серы в кондитерские изделия 203

Илюхина Н.В., Колоколова А.Ю. Закономерности ингибирования культуры *Salmonella* 209

Линовская Н.В., Мазукабзова Э.В., Кондратьев Н.Б. Научно-практические результаты комплексной оценки качественных показателей продуктов переработки какао-бобов 213

Романов В.А., Баракова Н.В. Регулирование процесса фракционирования солодового дистиллята с применением функции Харрингтона 219

Долматова О.И., Рудометкина К.А. Технология масла кислосливочного с фитокомпонентами 225

Христюк А.В., Касьянов Г.И. Перспективы создания безалкогольных напитков на легкой воде 229

Сапожников А.Н., Копылова А.В., Крайнова Ю.О., Крайнов С.А. Перспективы использования шпината в производстве мучных и хлебобулочных изделий 234

Нилова Л.П., Малютенкова С.М., Тверской В.Р. Региональные особенности формирования антиоксидантных свойств черного байхового чая 240

Жуков В.Г., Лукин Н.Д. Развитие представлений о деформационно-прочностных свойствах мякоти картофельных клубней 247

Беляев А.Г., Ковалева А.Е., Пьяникова Э.А. Влияние порошка кипрея узколистного на показатели качества пшеничного хлеба 254

Шенцова Е.С., Востроилов А.В., Курчаева Е.Е., Максимов И.В. Разработка технологических подходов к получению мясных систем на основе ресурсов кролиководства и растительных композитов 259

Khusainov I.A., Yakubov E.R., Kanarskaya Z.A., Kanarskiy A.V., Maximova I.A., Kachalkin A.V. Efficiency of synthesis of extracellular polysaccharides strains of *Lipomyces* yeast 269

Хусаинов И.А., Якубов Е.Р., Канарская З.А., Канарский А.В., Максимова И.А., Качалкин А.В. Эффективность синтеза внеклеточных полисахаридов штаммами дрожжей *Lipomyces*

Jumashova Y.J., Smanalieva J.N. Development of fruit and vegetable purees using honey and rice for infant nutrition 278

Жумашова Ы.Ж., Сманалиева Ж.Н. Разработка новой рецептуры фруктово-овощных пюре с медом и рисом для детского питания

Ginoyan R.V., Nazarova N.E., Bondareva Yu.N. The production technology of functional yoghurt, enriched with a mixture of dry wheat germ powder and bilberries and blueberries puree 283

Гиноян Р.В., Назарова Н.Е., Бондарева Ю.Н. Технология производства йогурта функционального назначения, обогащенного смесью сухого порошка пророщенной пшеницы и пюре из черники и голубики

Kostenko V.G., Podzigun G.I., Kovalyonok V.A. Optical properties wheat starch iodine polysaccharides 288

Костенко В.Г., Подзигун Г.И., Коваленок В.А. Оптические свойства йод-полисахаридов крахмала пшеницы

Cheryomushkina I.V., Shakhov A.G., Chernitskiy A.E. Manilevich N.N. Feed additives to enhance productivity and natural agricultural resistance of animals. 292

Черемушкина И.В., Шахов А.Г., Черницкий А.Е., Манилевич Н.Н. Кормовые добавки для повышения продуктивности и естественной резистентности сельскохозяйственных животных

Antipova L.V., Titov S.A., Zhdanov V.N., Karpak A.N. The use of internal friction measurements for the study of ultra- and nanofiltration of modified curd whey 298

Антипова Л.В., Титов С.А., Жданов В.Н., Карпак А.Н. Использование измерений внутреннего трения для исследования ультра- и нанофильтрации модифицированной творожной сыворотки

FUNDAMANTAL AND APPLIED CHEMISTRY, CHEMICAL TECHNOLOGY

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ХИМИЯ, ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Yakovenko R.E., Zubkov I.N., Nekroenko S.V., Papeta O.P. Combined synthesis and hydroprocessing on a cobalt catalyst on a cobalt-containing zeolite catalyst 304

Яковенко Р.Е., Зубков И.Н., Некроенко С.В., Папета О.П. Совмещенный синтез и гидрооблагораживание углеводородов на кобальтовом цеолитсодержащем катализаторе

Ganbarov M.B., Ataev M.Sh., Gazvini K.A. Studies of precipitation during the decomposition process of phosphorus-containing compounds 312

Ганбаров М.Б., Атаев М.Ш., Газвини К.А. Исследования преципитирования в ходе процесса разложения фосфоросодержащих соединений

Kuryakova T.A., Fedorov E.A., Meghueva L.V., Bykov A.V. The selection of catalysts that provide stability and high oxidation rate of hydrogen and methane flowing in the reactors R 2 compartments of helium Orenburg helium plant 316

Курякова Т.А., Федоров Е.А., Межуева Л.В., Быков А.В. Подбор катализаторов, обеспечивающих стабильность работы и высокую скорость окисления водорода и метана в реакторах Р 2 отделений тонкой очистки гелия Оренбургского гелиевого завода

Farberova E.A., Khodyashev M.B., Filatov V.Yu., Khodyashev N.B., Teengaeva E.A., Nozdrukhin A.D. Use of carbon sorbents in process of Hg-ions removal from treated wastewater 322

Фарберова Е.А., Ходяшев М.Б., Филатов В.Ю., Ходяшев Н.Б., Тиньгаева Е.А., Ноздрюхин А.Д. Применение углеродных сорбентов в технологии очистки сточных вод от ртути

Peregudov Yu.S., Timkova A.V., Gorbunova E.M., Plotnicova S.E. Use of ion-exchange fiber at the purification stage of wastewater of electroplating 330

Перегудов Ю.С., Тимкова А.В., Горбунова Е.М., Плотникова С.Е. Применение ионообменного волокна на стадии доочистки сточных вод гальванического производства

Shchegolkov A.V., Shchegolkov A.V., Parafimovich I.D., Burakova E.A., Kobelev A.V., Dyachkova T.P. Aspects of the directional synthesis of carbon nanotubes to create hierarchical radio-absorbing composite materials 337

Щегольков А.В., Щегольков А.В., Парфимович И.Д., Буракова Е.А., Кобелев А.В., Дьячкова Т.П. Аспекты направленного синтеза углеродных нанотрубок для создания иерархических радиопоглощающих композитных материалов

Shchegolkov A.V., Shchegolkov A.V., Yagubov V.S., Zorin A.S., Kobelev A.V. Heat storage materials based on nanomodified paraffin, controlled by a magnetic field 344

Щегольков А.В., Щегольков А.В., Ягубов В.С., Зорин А.С., Кобелев А.В. Теплоаккумулирующие материалы на основе наномодицированного парафина, управляемые магнитным полем

Stepanov S.I., Aung Maung Maung, Aung Htet Ye, Boyarintsev A.V. Chemical Aspects of Scandium carbonate leaching from Red Muds 349

Степанов С.И., Аунг Маунг Маунг, Аунг Хтет Йе, Бояринцев А.В. Химические аспекты карбонатного выщелачивания скандия из красных шламов

Studenikina L.N., Dochkina Ju.N., Shelkunova M.V., Korchagin V.I. Evaluation of the effectiveness of immobilization of activated sludge on composite materials "polyethylene:polysaccharides" 356

Студеникина Л.Н., Дочкина Ю.Н., Шелкунова М.В., Корчагин В.И. Оценка эффективности иммобилизации активного ила на композитных материалах «полиэтилен:полисахариды»

Vinogradova L.A., Gracheva Ju.N. The influence of universal additive BEST on the concrete properties 361

Виноградова Л.А., Грачева Ю.Н. Влияние универсальной добавки БЕСТ на свойства бетона

ECONOMICSANDMANAGEMENT		ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ
Solodovnik Yu.A. Methodical foundations of the classification of innovations in the tourism sector of the Russian Federation	366	**Солодовник Ю.А.** Методические основы классификации инноваций в туристической сфере Российской Федерации
Plakhin A.E. Methodology of adaptive management of industrial Park structure based on stakeholder approach	371	**Плахин А.Е.** Методология адаптивного управления промышленной парковой структурой на основе стейкхолдерского подхода
Desyatirikov A.N., Nechaev Yu.B., Desyatirikova E.N., Lyutova E.A. The mechanism of attracting investment in the regional economy on the example of the Voronezh region	378	**Десятириков А.Н., Нечаев Ю.Б., Десятирикова Е.Н., Лютова Е.А.** Механизм привлечения инвестиций в региональную экономику на примере Воронежской области
Serebryakova N.A., Petrikov A.V. The principles of design and the organization of functioning of innovative infrastructures in the conditions of the Industry 4.0	384	**Серебрякова Н.А., Петриков А.В.** Принципы проектирования и организации функционирования инновационных инфраструктур в условиях Индустрии 4.0
Horev A.I., Bukharin S.V., Ponomareva V.N. Accounting technique of the three-component indicator of the financial situation type in the analysis of the food industry enterprises capital structure	388	**Хорев А.И., Бухарин С.В., Пономарёва В.Н.** Методика учета трехкомпонентного показателя типа финансовой ситуации при анализе структуры капитала предприятий пищевой промышленности
Subhonberdiev A.Sh., Shevchenko A.N. Import substitution strategies in the global economy: lessons for Russia	398	**Субхонбердиев А.Ш., Шевченко А.Н.** Стратегии импортозамещения в мировой экономике: уроки для России
Subhonberdiev A.Sh., Titova E.V., Kustov D.A., Lobacheva N.N. Territory of sustainable development as a tool for investment in the region	403	**Субхонбердиев А.Ш., Титова Е.В., Кустов Д.А., Лобачева Н.Н.** Территория опережающего развития как инструмент привлечения инвестиций в регион
Serebryakova N.A., Avdeev I.V. The content of structural transformations of the region's economy, adequate to the requirements of digitalization	408	**Серебрякова Н.А., Авдеев И.В.** Содержание структурных преобразований экономики региона, адекватных требованиям цифровизации
Armashova-Telnik G.S. Features of the development of social innovations in the field of energy management	413	**Армашова-Тельник Г.С.** Особенности социального инновационного проектирования в энергоменеджменте
Sabetova T.V. Identification and evaluation of the impact of uncertainty factors on the activities of agricultural enterprises	417	**Сабетова Т.В.** Выявление и оценка влияния факторов неопределенности на деятельность аграрного предприятия
Gurina M.A., Rumyantseva Yu.V. Competitiveness Management of Goods Based on the Application of the Theory of Attractive Quality N. Kano (on the example of JSC “Sagunovsky Meat Processing Plant”)	426	**Гурина М.А., Румянцева Ю.В.** Управление конкурентоспособностью товара на основе применения теории привлекательного качества Н. Кано (на примере ОАО «Сагуновский Мясокомбинат»)
Asmolova M.S., Dedov S.V. The algorithm to ensure and implement the strategy of the effective management of innovation processes	436	**Асмолова М.С., Дедов С.В.** Алгоритм обеспечения и реализации стратегии эффективного управления инновационными процессами
Avrashkov L.Ya., Grafova G. F., Grafov A.V., Shakhvatova S.A. Theoretical and practical approaches to the formation of equity for the development of entrepreneurial activity.	441	**Аврашков Л.Я., Графова Г.Ф., Графов А.В., Шахватова С.А.** Теоретические и практические подходы к формированию собственного капитала для развития предпринимательской деятельности
Lvova M.I., Bakunova T.V., Koltsova T.A. Sustainable development as an alternative goal of economic actors in modern society	452	**Львова М.И., Бакунова Т.В., Кольцова Т.А.** Устойчивое развитие как альтернативная цель экономических субъектов в современном обществе
Rutkauskas T.K., Shukshina E.V. The development of the program of complex development of communal infrastructure	456	**Руткаускас Т.К., Шукшина Е.В.** Разработка программы комплексного развития коммунальной инфраструктуры
Desyatirikov A.N., Nechaev Yu.B., Desyatirikova E.N., Shestopalov A.Yu. Information analysis and synthesis of the organizational structure of the unique project in the classical control theory	463	**Десятириков А.Н., Нечаев Ю.Б., Десятирикова Е.Н., Шестопалов А.Ю.** Информационный анализ и синтез организационной структуры уникального проекта методами классической теории управления
Ovchinnikova T.I., Strukov G.N. Measures to reduce unemployment	471	**Овчинникова Т.И., Струков Г.Н.** Меры по снижению безработицы
Linev I.V., Fedotova N.A. About opportunity of foreign experience application of public-private partnership in construction	479	**Линев И.В., Федотова Н.А**. О возможности применения зарубежного опыта использования государственно-частного партнерства в строительстве
Ledeneva M.V., Plaksunova T.A. Creating an innovation ecosystem in the regions of the Russian Federation (on the example of the Volgograd region)	484	**Леденёва М.В., Плаксунова Т.А.** Формирование инновационной экосистемы в регионах РФ (на примере Волгоградской области)
Salikov Yu.A., Vandysheva S.V., Smarchkova L.V., Chudakova E.A. The use of cluster approach in the development of industry in the region	493	**Саликов Ю.А., Вандышева С.В., Смарчкова Л.В., Чудакова Е.А.** Использование кластерного подхода в развитии промышленности региона

Процессы и аппараты пищевых производств

Оригинальная статья/Original article

УДК 637.66:664.046.3

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-12-18

Кинетические закономерности и оптимизация процесса криоконцентрирования крови крупного рогатого скота

Сергей Т. Антипов [1] ast@vsuet.ru
Виталий Ю. Овсянников [1] ows2003@mail.ru
Александр А. Корчинский [1] 79192492267@ya.ru

[1] Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Актуальность применения компонентов крови в качестве сырья для выработки из нее продуктов, способствующих профилактике и лечению железодефицитных состояний не вызывает сомнений. Кроме того белковые соединения крови крупного рогатого скота обладают высокой усваиваемостью организма человека, а комплекс незаменимых аминокислот обуславливает ее привлекательность в качестве добавки при выработке широкого ассортимента мясной продукции. Единственно возможным способом в настоящее время сгущения термолабильных соединений крови является криоконцентрирование, осуществляемое в диапазоне температур приближенных к криоскопической температуре. Исследованы кинетические особенности криоконцентрирования крови крупного рогатого скота на экспериментальной установке циклического действия. Показано, что условия криоконцентрирования определяются температурой кипения хладагента в испарителе установки, расхода исходной крови, омывающей поверхность теплообмена и содержанием растворимых соединений в исходной жидкости. Экспериментальные данные представлены в виде кривых роста слоя вымороженного льда на поверхности теплообмена площадью 0,2 м^2. Методами математического планирования получены уравнения, описывающие количество льда, вымороженного в течение часа с единицы площади поверхности вымораживающей установки, удельные затраты энергии на вымораживание одного килограмма льда и содержание сухих веществ крови в растворе, полученном при расплавлении вымороженного льда. Решенная задача оптимизации процесса криоконцентрирования крови позволила найти рациональные интервалы изменения режимных параметров работы вымораживающей установки, обеспечивающие максимальное количество вымороженного льда, минимальные затраты энергии и минимальное содержание растворимых веществ в растворе, полученном при расплавлении вымороженного льда. Субоптимальными интервалами указанных параметров явились следующие: температура кипения хладагента 256–260 К, расход крови (0,20–0,205)·10^{-3} м^3/с, содержание сухих веществ 22,5–23,0%.

Ключевые слова: кровь крупного рогатого скота, концентрирование вымораживанием

Kinetic patterns and optimization of the process of concentration by freezing the blood of cattle

Sergei T. Antipov [1] ast@vsuet.ru
Vitaly Yu. Ovsyannikov [1] ows2003@mail.ru
Aleksandr A. Korchinskij [1] 79192492267@ya.ru

[1] Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The urgency of the use of blood components as a raw material for the production of products from it that contribute to the prevention and treatment of iron deficiency states is beyond doubt. In addition, protein compounds in the blood of cattle have a high digestibility of the human body, and the complex of essential amino acids determines its attractiveness as an additive in the development of a wide range of meat products. The only possible way at present to thicken thermo labile blood compounds is cryoconcentration, carried out in a temperature range close to the cryoscopy temperature. The kinetic features of cryoconcentration of cattle blood were investigated on an experimental apparatus of cyclic action. It is shown that the conditions of cryoconcentration are determined by the boiling point of the refrigerant in the evaporator of the installation, the flow rate of the original blood washing the heat exchange surface and the content of soluble compounds in the initial liquid. Experimental data are presented in the form of growth curves of frozen ice on the heat exchange surface with an area of 0.2 m^2. Using mathematical planning methods, equations are obtained that describe the amount of ice frozen for 1 hour per unit of surface area of the freezing plant, the specific energy input for freezing one kilogram of ice, and the dry matter content of the blood in the solution obtained by melting the frozen ice. The solved problem of optimizing the process of blood cryoconcentration made it possible to find rational intervals for changing the operating parameters of the freezing plant, ensuring the maximum amount of frozen ice, minimal energy costs and minimal content of soluble substances in the solution obtained by melting frozen ice. The suboptimal intervals of the indicated parameters were the following: refrigerant boiling point 256– 260 K, blood consumption (0.20–0.205)·10^{-3} m^3/s, dry matter content 22.5–23.0 %.

Keywords: blood of large livestock, kinetics, freeze concentration

Для цитирования

Антипов С.Т., Овсянников В.Ю., Корчинский А.А. Кинетические закономерности и оптимизация процесса криоконцентрирования крови крупного рогатого скота // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 12–18. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-12-18

For citation

Antipov S.T., Ovsyannikov V.Yu., Korchinskij A.A. Kinetic patterns and optimization of the process of concentration by freezing the blood of cattle . *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 12–18. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-12-18

Введение

Кровь крупного рогатого скота (КРС) является значимым источником белка животного происхождения, в ней содержится ряд необходимых человеку соединений – аминокислот, жиров, комплекс углеводов, витаминов и ферментов, минеральных соединений. Значительное количество людей страдают от недостатка железа. Одной из наиболее распространенных причин патологий, наблюдающихся у населения различных стран в мире, является недостаточное поступление железа в организм. Кровь КРС выступает в качестве важнейшего сырья для производства из нее продуктов, обеспечивающих активную профилактику и лечение железодефицитного состояния, кроме того, она имеет низкую стоимость и доступна.

С ростом поголовья скота в России расширяются и ресурсы крови, которую можно использовать при выработке ряда мясных продуктов.

Важное значение имеет кровь как сырье для выработки лечебных препаратов, ассортимент которых достаточно широк.

Промышленные способы концентрирования крови сельскохозяйственных животных в значительной степени определяют качество вырабатываемых из них конечных продуктов. При этом только единственно возможный способ получения концентрированной крови КРС – криоконцентрирование (вымораживание влаги) обеспечивает максимальную сохранность всех нативных биотехнологических соединений исходного сырья при достаточно высокой концентрации целевых компонентов крови.

Материалы и методы

Представлены результаты исследований криоконцентрирования крови КРС на экспериментальной установке в циклическом режиме [1].

Экспериментальные исследования проводили в трехкратной последовательности. После достижения требуемой температуры испарителя установки включался насос, обеспечивающий подачу крови из напорного бака на поверхность испарителя, и секундомер. Необходимый расход крови устанавливали за счет предварительного изменения проходного сечения магистрали подачи крови КРС за счет частичного перекрывания запорного вентиля.

В ходе эксперимента обеспечивалась регистрация показаний температуры кипения фреона в испарителе установки, давления всасывания и нагнетания компрессора, расход крови КРС и длительность криоконцентрирования. Одновременно проводили измерение силы тока и напряжение в цепи холодильного агрегата и циркуляционного насоса экспериментальной установки.

После установленного периода криоконцентрирования, принятом равным 60 мин, отключали подачу крови КРС на испаритель установки, а также обеспечивали создание условий для оттаивания испарителя экспериментальной установки. Это позволяло осуществить подачу горячих паров хладагента в испаритель и обеспечить подтаивание слоя вымороженного льда, который под действием силы тяжести соскальзывал с поверхности испарителя в специально подготовленную емкость.

После криоконцентрирования крови КРС осуществляли измерение удельного количества вымороженного льда с единицы площади поверхности вымораживания, величины удельных затрат энергии на вымораживание влаги и содержание сухих веществ в растворе, расплавленного льда.

Результаты и обсуждение

Проведенные исследования вымораживания льда на теплообменной поверхности испарителя площадью 0,2 м^2 за цикл в зависимости от температуры кипения хладагента и начального содержания сухих веществ в крови КРС при постоянном расходе продукта, омывающего теплообменную поверхность, равном $0{,}2 \cdot 10^{-3}$ м^3/с, представлены на рисунках 1–4.

Анализ полученных кривых роста слоя льда позволяют сделать следующие выводы.

Механизм процесса концентрирования крови КРС вымораживанием влаги зависит от режимных параметров указанного процесса и характера взаимодействия влаги с сухим веществом крови или, иными словами, характера перемещения молекул воды из жидкой фазы поверхности фронта образования льда и проникновения их в кристаллическую структуру ледяной фазы [1].

Режим криоконцентрирования, в свою очередь, влияющий на условия протекания процесса, определяется следующими параметрами: величиной температуры поверхности охлаждения, которая воспринимает теплоту льдообразования, величинами скоростей движения и площадью поверхности контакта жидкости и поверхности теплообмена, содержанием и спецификой растворимых соединений в крови КРС [2].

Исследование изменения среднего значения количества вымороженного льда с единицы площади теплообмена вымораживающей установки во времени, полученного при

экспериментальном исследовании, определяет основные характеристики процесса криоконцентрирования крови КРС [3–6].

Проведенные исследования вымораживания слоя льда на поверхности испарителя вымораживающей установки в зависимости от температуры кипения хладагента и начальной величины растворимых веществ в крови КРС при постоянной величине расхода крови, орошающей испаритель, представлены на рисунках 1–4.

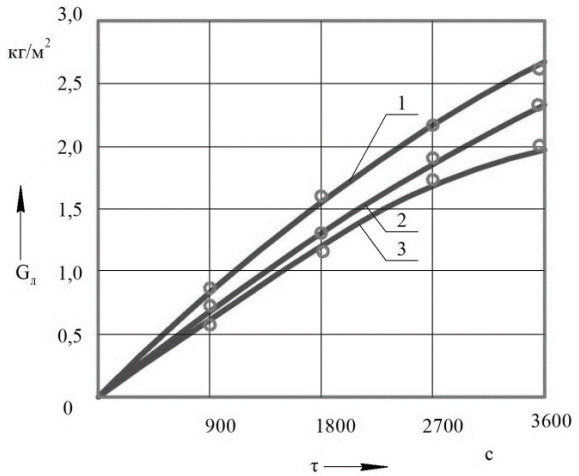


Рисунок 1. Кривые роста слоя льда на испарителе при температуре кипения хладагента 260 К и начальном содержании сухих веществ в крови, %: 1 – 19,1; 2 – 23,2; 3 – 27,8

Figure 1. Growth curves of the ice layer on the evaporator at the boiling point of the refrigerant 260 K and the initial content of dry substances in the blood, %: 1 – 19.1; 2 – 23.2; 3 – 27.8

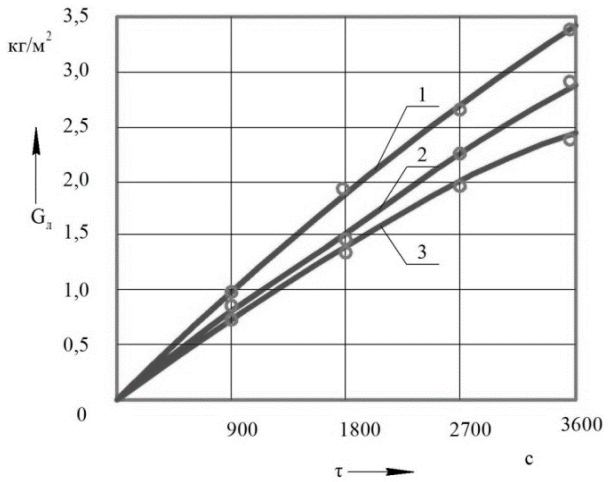


Рисунок 2. Кривые роста слоя льда на испарителе при температуре кипения хладагента 255 К и начальном содержании сухих веществ в крови, %: 1 – 19,1; 2 – 23,2; 3 – 27,8

Figure 2. Growth curves of the ice layer on the evaporator at the boiling point of the refrigerant 255 K and the initial content of dry substances in the blood %: 1 – 19.1; 2 – 23.2; 3 – 27.8

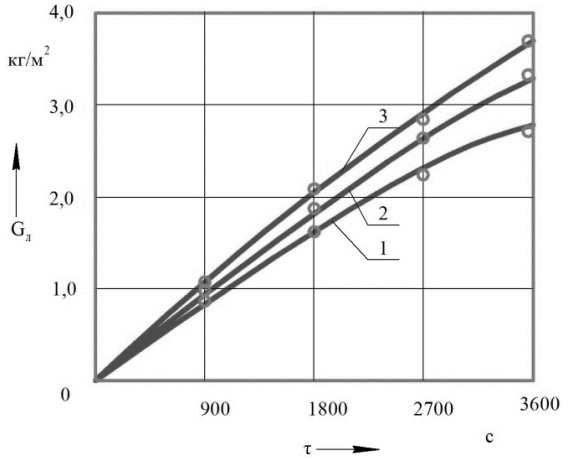


Рисунок 3. Кривые роста слоя льда на испарителе при содержании сухих веществ в крови 19,1% и температуре кипения хладагента в испарителе, К: 1 – 258; 2 – 255; 3 – 253

Figure 3. The growth curves of the ice layer on the evaporator with a dry matter content in the blood of 19.1% and the boiling point of the refrigerant in the evaporator, K: 1 – 258; 2 – 255; 3 – 253

Анализ полученных кривых роста слоя льда позволяет сделать следующие выводы.

Зависимости, отражающие удельное количество льда, вымороженного на теплообменной поверхности испарителя при концентрировании крови КРС, при изменении температуры кипения хладагента и начального содержания сухих веществ в крови КРС носят схожий характер.

Увеличение начального содержания сухих веществ в крови КРС при постоянной температуре кипения хладагента в испарителе обусловливает нелинейное снижение удельного количества вымороженного льда.

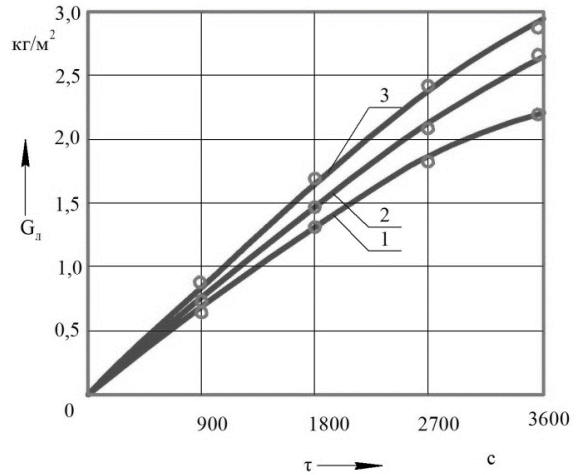


Рисунок 4. Кривые роста слоя льда на испарителе при содержании сухих веществ в крови 25% при температуре кипения хладагента в испарителе, К: 1 – 258; 2 – 255; 3 – 253

Figure 4. The growth curves of the ice layer on the evaporator with a dry matter content in the blood of 25% at the boiling point of the refrigerant in the evaporator, K: 1 – 258; 2 – 255; 3 – 253

При анализе количества вымороженного льда, полученного через равные интервалы времени при концентрировании, установлено, что температура кипения хладагента в испарителе вымораживающей установки также оказывает влияние на удельное количество льда, вымороженного из крови.

Изменение температуры кипения хладагента в испарителе вымораживающей установки вызывает нелинейное повышение удельного количества льда. Снижение температуры кипения хладагента вызывает пропорциональное повышение удельного количества вымороженного льда, а повышение температуры снижает количество образующегося льда [7–9].

При применении математических методов планирования эксперимента изучили влияние различных параметров на особенности функционирования вымораживающей установки.

В качестве основных факторов, оказывающих наибольшее влияние на характер функционирования вымораживающей установки, были выявлены следующие: X_1 – температура кипения хладагента в испарителе вымораживающей установки, К; X_2 – расход крови КРС, омывающей рабочую поверхность испарителя, м^3/с; X_3 – начальное содержание сухих растворимых веществ в крови КРС, %.

Все указанные факторы являются совместимыми и не коррелируемы между собой, а пределы их изменения представлены в таблице 1.

От указанных параметров зависит удельное количество ледяной фазы, вымороженной с единицы площади поверхности испарителя за цикл работы установки, принятый равным 3600 с, затраты энергии на процесс вымораживания влаги и величина сухих растворимых веществ, захватываемых вымороженным льдом в процессе концентрирования крови. Исследуя их взаимосвязь и влияние, можно выявить наиболее оптимальные с точки зрения функционирования режимы технологического процесса.

Выбор величины интервалов изменения выявленных факторов вызван особенностью технологии сгущения крови КРС и техническими характеристиками используемой экспериментальной вымораживающей установки.

В качестве критериев оценки воздействия указанных параметров на характер процесса криоконцентрирования крови КРС методом вымораживания влаги были выбраны: Y_1 – масса льда, вымороженная в течение 3600 с с единицы площади поверхности испарителя, кг/(м^2·ч); Y_2 – удельные затраты энергии на вымораживание одного килограмма льда, кВт·ч/кг; Y_3 – содержание сухих веществ крови КРС в растворе вымороженного и расплавленного льда, %.

Для исследования выбрали центральное композиционное ротатабельное униформпланирование с полным факторным экспериментом типа 2^3, который предусматривает проведение двадцати опытов.

Таблица 1.

Пределы изменения входных факторов

Table 1.

Limits of variation of input factors

Условия планирования Planning conditions	Кодированные значения Coded values	Значения факторов в точках плана The values of the factors in the points plan		
		X_1, К	$X_2 \cdot 10^{-3}$, м^3/с	X_3, %
Основной уровень | Basic level	0	258	0,20	23
Интервал варьирования | The range of variation	Δ	3,0	0,03	3
Верхний уровень | Top level	+1	261	0,23	26
Нижний уровень | Lower level	-1	255	0,17	20
Верхняя “звездная точка” | The top “star point”	+1,682	263	0,25	28
Нижняя “звездная точка” | Lower “star point”	-1,682	253	0,15	18

В результате обработки опытных данных методом парной корреляции удалось получить уравнения регрессии, адекватно описывающие указанный процесс:

$$Y_1 = 2,434 - 0,655X_1 - 0,487X_2 + 0,623X_3 + 0,867X_1X_3 - 0,572X_2X_3 - 0,283X_1^2 + 0,770X_2^2 + 0,123X_3^2; \quad (1)$$

$$Y_2 = 1,032 + 0,322X_1 + 0,147X_2 - 0,001X_3 + 0,174X_1X_2 - 0,646X_1X_3 + 0,063X_2X_3 - 0,261X_1^2 + 0,131X_2^2; \quad (2)$$

$$Y_3 = 3,430 + 0,415X_1 + 0,183X_2 - 0,133X_3 + 0,264X_1X_2 - 0,109X_2X_3 + 0,184X_1^2 - 0,123X_2^2 + 0,343X_3^2. \quad (3)$$

Анализ уравнений регрессии (1)–(3) показал, что на массу льда, вымороженного за 1 ч работы установки с единицы поверхности испарителя, наибольшее влияние оказывает температура кипения хладагента в испарителе вымораживающей установки и начальное содержание сухих веществ в крови КРС, наименьшее – расход крови, омывающей

поверхность испарителя. Величина влияния факторов относительно друг друга, описываемая коэффициентами, стоящими перед линейными членами уравнения $b_1: b_2 = 1{,}359$, $b_3:b_2 = -1{,}280$. Знак плюс перед коэффициентом при линейных членах свидетельствует о том, что при увеличении входного фактора величина выходного фактора повышается, а знак минус, что снижается.

На удельные затраты энергии на реализацию процесса концентрирования крови методом вымораживания большее влияние оказывает температура кипения хладагента в испарителе вымораживающей установки, меньшее – начальное содержание сухих растворимых веществ, присутствующих в крови КРС. При этом степень влияния факторов друг относительно друга составила величину, равную $b_1:b_3 = 332$ это весьма существенно.

Отношение коэффициентов, стоящих перед линейными членами уравнения (3), отражающего величину потерь сухих веществ крови с отводимым вымороженным льдом из вымораживающей установки, характеризующих степень влияния параметров относительно друг друга, оказалось равным: $b_1:b_3 = 3{,}120$.

На рисунках 5–7 представлены зависимости критериев Y_i от выделенных факторов.

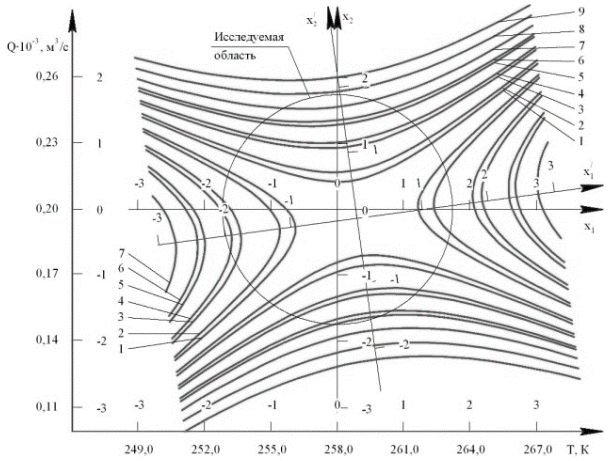


Рисунок 5. Зависимость массы льда, кг/(м^2·ч), вымороженного в течение 1 ч с единицы площади поверхности установки, от температуры кипения хладагента T, К, и расхода крови Q, м^3/с, омывающей испаритель: 1 – 0,60; 2 – 1,275; 3 – 1,95; 4 – 2,625; 5 – 3,30; 6 – 3,975; 7 – 4,65; 8 – 5,325; 9 – 6,0

Figure 5. The dependence of the mass of ice, kg/(m^2·h), frozen within an 1 h from the unit surface area of the unit from, the boiling point of the refrigerant T, K, and blood flow Q, m^3/s, washing evaporator: 1 – 0.60; 2 – 1.275; 3 – 1.95; 4 – 2.625; 5 – 3.30; 6 – 3.975; 7 – 4.65; 8 – 5.325; 9 – 6.0

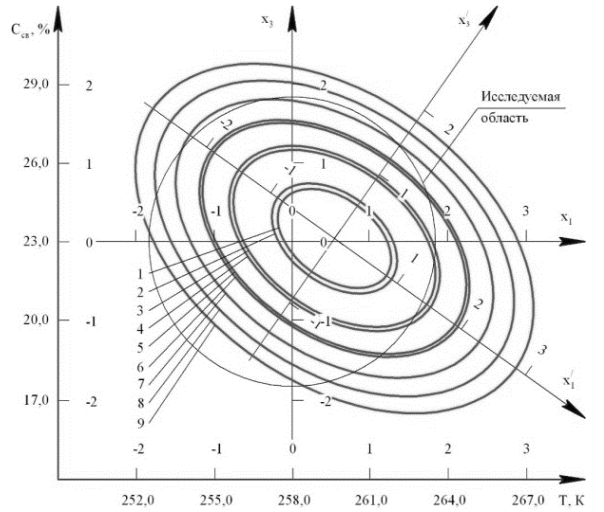


Рисунок 6. Зависимость удельных затрат энергии на вымораживание 1 кг льда из крови, кВт·ч/кг, от температуры кипения хладагента T, К, и содержания сухих растворимых веществ в крови $C_{св}$, %: 1 – 0,33; 2 – 0,6175; 3 – 0,905; 4 – 1,1925; 5 – 1,48; 6 – 1,7675; 7 – 2,055; 8 – 2,3425; 9 – 2,630

Figure 6. The dependence of the specific energy consumption for freezing 1 kg of ice from the blood, kW·h/kg, of the boiling point of the refrigerant T, K, and the initial content of dry soluble substances in the blood of $C_{св}$, %: 1 – 0.33; 2 – 0.6175; 3 – 0.905; 4 – 11925; 5 – 1.48; 6 – 1.7675; 7 – 2.055; 8 – 2.3425; 9 – 2.630

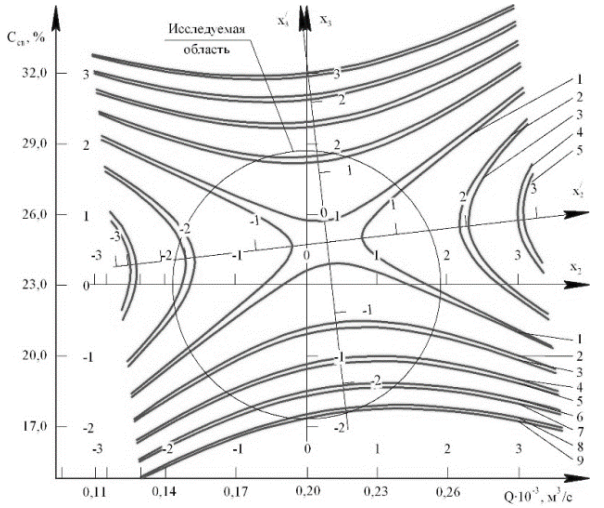


Рисунок 7. Зависимость содержания сухих веществ крови в растворе расплавленного льда $C_{св}$, %, от расхода крови Q, м^3/с, омывающей испаритель, и начального содержания сухих растворимых веществ в крови $C_{св}$, %: 1 – 1,5; 2 – 2,0; 3 – 2,5; 4 – 3,0; 5 – 3,5; 6 – 4,0; 7 – 4,5; 8 – 5,0; 9 – 5,5

Figure 7. The dependence of the content of dry substances of blood in a solution of molten ice $C_{св}$, %, of the blood flow Q, m^3/s, washing the evaporator and the initial content of dry soluble substances in the blood of $C_{св}$, %: 1 – 1.5; 2 – 2.0; 3 – 2.5; 4 – 3.0; 5 – 3.5; 6 – 4.0; 7 – 4.5; 8 – 5.0; 9 – 5.5

В задачу оптимизации входило нахождение таких режимов функционирования концентрирующей установки, которые бы в указанном интервале изменения входных параметров обеспечивали максимальное количество ледяной фазы, вымороженной с единицы площади испарителя за цикл работы, минимальное значение затрат энергии на процесс вымораживания и минимальную величину растворимых веществ, захватываемых вымороженным льдом в процессе концентрирования крови КРС [8–10].

Общая математическая постановка задачи оптимизации была представлена в виде следующей модели:

$$\begin{aligned} &q = q(y_1, y_2, y_3) \xrightarrow[x\in D]{} \text{opt}, \\ &D: y_1(x_1, x_2, x_3) \xrightarrow[x\in D]{} \max, \\ &y_2(x_1, x_2, x_3) \xrightarrow[x\in D]{} \min, \\ &y_3(x_1, x_2, x_3) \xrightarrow[x\in D]{} \min, \\ &y_i \ge 0,\ i = \overline{1,2};\quad x_j \le [-1{,}682; 1{,}682],\ j = \overline{1,3}. \end{aligned} \tag{4}$$

Для определения оптимальных режимов концентрирования крови КРС методом вымораживания влаги использовали метод "ридж-анализ", который основан на математическом аппарате неопределенных множителей Лагранжа.

В таблице 2 представлены полученные в результате оптимизации интервалы изменения значений X_I для всех описанных выходных факторов.

С целью принятия конечного решения по выбору оптимальных условий описанного процесса следует найти решение, удовлетворяющее условию (4) путем наложения представленных в таблице 1 оптимальных интервалов изменения значений X_I друг на друга.

Изучая выделенную область допустимых значений $x \in$ [-1,682; 1,682] и сопоставляя оптимальные интервалы по каждому выходному фактору Y_i для всех x_i, отметим, что исследуемые Y_i не конфликтуют между собой ни по одному из параметров x_i.

В результате сопоставления выявленных оптимальных интервалов значений X_I отмечаем, что общими для критериев оптимизации Y_1 и Y_2 являются диапазоны x_1 = [256,0–260,0], К; x_2 = [0,20–0,205]·10^{-3} м^3/с; x_3 = [22,5–23,0].

Таблица 1.

Оптимальные интервалы изменения входных параметров и выходных факторов

Table 1.

Optimal intervals for changing input parameters and output factors

y	x_1, К		$x_2 \cdot 10^{-3}$ м^3/с		x_3, %	
	min	max	min	max	min	max
Y_1	255,20	257,29	0,198	0,213	23,16	24,36
Y_2	259,40	261,27	0,201	0,209	22,56	22,91
Y_3	261,07	263,17	0,203	0,213	22,31	22,82

Для проверки достоверности полученных результатов проводили соответствующее количество параллельных опытов. Полученные данные находились внутри рассчитанных доверительных интервалов по всем выбранным критериям. При этом среднеквадратичная погрешность не превышала 4,6%.

В качестве субоптимальных интервалов изменения параметров следует принять: T = 256,0–260,0 К; Q = (0,20–0,205)·10^{-3} м^3/с; $C_{св}$ = 22,5–23,0%.

Заключение

Обобщая полученные данные, можно сказать, что процесс криоконцентрирования крови КРС протекает по сложному механизму, при этом значительное влияние имеет температура поверхности теплообмена, на которой формируется слой вымороженного льда и начальное содержание сухих растворимых веществ в крови.

Результаты решенной задачи оптимизации позволили выделить рациональный диапазон изменения входных факторов по трем исследуемым критериям функционирования вымораживающей установки. Полученная математическая модель может применяться при создании вымораживающих установок периодического действия, а также способа управления технологическими режимами криоконцентрирования крови КРС.

ЛИТЕРАТУРА

1 Антипов С.Т., Овсянников В.Ю., Корчинский А.А. Исследование концентрирования крови крупного рогатого скота // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 2. С. 11–17.

2 Антипов С.Т., Рязанов А.Н., Овсянников В.Ю., Ященко С.М. Разработка модели анализа и прогноза основных характеристик процесса криоконцентрирования // Хранение и переработка сельхозсырья. 2001. № 4. С. 36–38.

3 Пап Л. Концентрирование вымораживанием. М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1982. 97 с.

4 Плотников В.Т., Филаткин В.Н. Разделительные вымораживающие установки. М.: Агропромиздат, 1987. 352 с.

5 Hernandez E., Pazmino N., Raventos M. et al. Continuos system of freeze concentration of sucrose solutions: Process parameters and energy consumption // Journal of Food Technology and Preservation. 2016. P. 1–5.

6 Короткий И.А., Короткая Е.В., Федоров В.Е. Исследование температур замораживания свиной крови // Техника и технология пищевых производств. 2013. № 3 (30). С. 27–31.

7 Pazmino N., Raventos M., Hernandez E., Gulfo R. et al. Continuous system of freeze concentration of sucrose solutions: Process parameters and energy consumption // Journal of Food Technology and Preservation. 2017. V. 1. № 1. P. 1–5.

8 Gulfo R., Auleda J.M., Moreno F.L., Ruiz Y. et al. Multi-plate freeze concentration: Recovery of solutes occluded in the ice and determination of thawing time // Food science and technology international. 2014. № 20. P. 405–19.

9 Hamid A., Hanim F., Rahim N.A., Johari A. et al. Desalination of seawater through progressive freeze concentration using a coil crystallizer // Water Science and Technology: Water Supply. 2015. V. 15. № 3. P. 625–631.

10 Williams P.M., Ahmad M., Connolly B.S., Oatley-Radcliffe D.L. Technology for freeze concentration in the desalination industry // Desalination. 2015. V. 356. P. 314–327.

REFERENCES

1 Antipov S.T., Ovsyannikov V.Yu., Korchinsky A.A. The study of the concentration of blood of cattle. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 2. pp. 11–17. (in Russian).

2 Antipov S.T., Ryazanov A.N., Ovsyannikov V.Yu., Yashhenko S.M. Development of the model of analysis and forecast of the fundamental characteristics of the process of cryoconcentration. *Khranenie i pererabotka sel'hozsyr'ja* [Storage and processing agricultural]. 2001. no. 4. pp. 36–38. (in Russian).

3 Pap L. Koncentrirovanie vymorazhivaniem [Freeze concentration]. Moscow, Light and food industry, 1982. 97 p. (in Russian).

4 Plotnikov V.T., Filatkin V.N. Razdelitel'nye vymorazhivajushhie ustanovki [Dividing the chiller plant]. Moscow, Agro-publishing, 1987. 352 p. (in Russian).

5 Hernandez E., Pazmino N., Raventos M. et al. Continuos system of freeze concentration of sucrose solutions: Process parameters and energy consumption. Journal of Food Technology and Preservation. 2016. pp. 1–5.

6 Korotky I.A., Korotkaya E.V., Fedorov V.E. Study of freezing temperatures of pig's blood. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevyh proizvodstv* [Equipment and technology of food production]. 2013. no. 3 (30). pp. 27–31. (in Russian).

7 Pazmino N., Raventos M., Hernandez E., Gulfo R. et al. Continuous system of freeze concentration of sucrose solutions: Process parameters and energy consumption. Journal of Food Technology and Preservation. 2017. vol. 1. no 1. pp. 1–5.

8 Gulfo R., Auleda J.M., Moreno F.L., Ruiz Y. et al. Multi-plate freeze concentration: Recovery of solutes occluded in the ice and determination of thawing time. Food science and technology international. 2014. no. 20. pp. 405–19.

9 Hamid A., Hanim F., Rahim N.A., Johari A. et al. Desalination of seawater through progressive freeze concentration using a coil crystallizer. Water Science and Technology: Water Supply. 2015. vol. 15. no. 3. pp. 625–631

10 Williams P.M., Ahmad M., Connolly B.S., Oatley-Radcliffe D.L. Technology for freeze concentration in the desalination industry. Desalination. 2015. vol. 356. pp. 314–327.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Сергей Т. Антипов д.т.н., профессор, проректор по научной и инновационной деятельности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ast@vsuet.ru

Виталий Ю. Овсянников к.т.н., доцент, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ows2003@mail.ru

Александр А. Корчинский аспирант, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, 79192492267@ya.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Сергей Т. Антипов разработал концепцию исследований, консультации в ходе эксперимента

Виталий Ю. Овсянников обработал экспериментальные данные, корректировал рукопись до подачи в редакцию

Александр А. Корчинский провёл эксперимент, написал рукопись и несёт ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 05.10.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 19.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Sergei T. Antipov Dr. Sci. (Engin.), professor, vice rector of research and innovation, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ast@vsuet.ru

Vitaly Yu. Ovsyannikov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, machines and equipment of food production department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ows2003@mail.ru

Aleksandr A. Korchinskij graduate student, engineer, machines and equipment of food production department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, 79192492267@ya.ru

CONTRIBUTION

Sergei T. Antipov it developed the concept of studies, consultation in the course of the experiment

Vitaly Yu. Ovsyannikov processed experimental data, corrected the manuscript before submission to the editor

Aleksandr A. Korchinskij conducted an experiment, wrote a manuscript and is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.5.2018

ACCEPTED 11.19.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 637.146.33.04

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-19-24

Исследование процессов замораживания и вакуум-сублимационной сушки бактериальных концентратов для молочной отрасли

Владимир В. Пойманов [1] v-poymanov@yandex.ru
Дарья С. Гришанова [1] deidara4.12@mail.ru
Сергей Т. Антипов [1]

[1] Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Данный проект посвящен разработке финишного оборудования для производства сухих бакконцентратов. Одними из основных объектов являются скороморозильный аппарат, предназначенный для замораживания бактериальных концентратов, а также вакуум-сублимационная сушилка непрерывного действия. На этом рынке отечественная продукция занимает около 9–12%. Создание наукоемкого оборудования нового поколения для производства бактериальных концентратов для предприятий молочной отрасли позволит решить проблему импортозамещения данного вида продукции. Выявлены основные направления использования бактериальных концентратов в молочной отрасли. Приведен анализ используемых стартовых культур, ассортимента продукции, выпускаемой с использованием бактериальных концентратов. Приведена классификация бактериальных концентратов по способу хранения и применения. Рассмотрены методы использования бактериальных концентратов на предприятиях молочной отрасли. Предложены пути совершенствования технологии производства бакконцентратов. Для изучения влияния технологических параметров вакуум-сублимационной сушки на качество готового бакконцентрата выполнена серия экспериментов. Сушка осуществлялась до конечной влажности материала 3,0–3,2%, при этом остаточное давление в камере изменялось в диапазоне 10–50 Па, плотность теплового потока – от 1,2 до 1,8 кВт/м^2. Обоснована целесообразность создания отечественного производства бакконцентратов в промышленных масштабах. Приведены результаты исследования кинетики процесса замораживания бактериальных концентратов. Предложены рациональные параметры процесса замораживания и оптимальный состав криопротекторной среды. Проведены исследования процесса вакуум-сублимационного обезвоживания бактериального концентрата в слое и гранулированном виде. Приведены качественные показатели сухих бактериальных концентратов. Полученные результаты позволят проводить инженерные расчеты и проектирование оборудования для замораживания и вакуум-сублимационных установок с различными способами энергоподвода.

Ключевые слова: бактериальный концентрат, замораживание, вакуум-сублимационная сушка, энергосбережение

Investigation of the processes of freezing and freeze-drying of bacterial concentrates for the dairy industry

Vladimir V. Poymanov [1] v-poymanov@yandex.ru
Daria S. Grishanova [1] deidara4.12@mail.ru
Segey T. Antipov [1]

[1] Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. This project is dedicated to the development of finishing equipment for the production of dry bacterial concentrates. One of the main objects is a quick-freezing apparatus designed for freezing bacterial concentrates, as well as a continuous vacuum freeze dryer. In this market, domestic production takes about 9 ... 12%. Creation of high-tech equipment of a new generation for the production of bacterial concentrates for dairy enterprises will allow to solve the problem of import substitution of this type of product. The main directions for the use of bacterial concentrates in the dairy industry. The analysis of used starter cultures, the range of products manufactured using bacterial concentrates. The classification of bacterial concentrates according to the method of storage and use is given. The methods of using bacterial concentrates at dairy enterprises are considered. The ways to improve the production of bacterial concentrates are proposed. To study the effect of technological parameters of vacuum freeze-drying on the quality of the final bacterial concentrate, a series of experiments was performed. Drying was carried out to a final moisture content of 3.0–3.2%, while the residual pressure in the chamber varied in the range of 10–50 Pa, and the heat flux density ranged from 1.2 to 1.8 kW / m^2. The expediency of creating domestic production of baconconcentrates on an industrial scale is substantiated. The results of the study of the kinetics of the freezing of bacterial concentrates are given. The rational parameters of the freezing process and the optimal composition of the cryoprotective medium are proposed. Investigations of the process of vacuum-sublimation dehydration of bacterial concentrate in a layer and granulated form have been conducted. The quality indicators of dry bacterial concentrates are given. The results will allow to carry out engineering calculations and design of equipment for freezing and vacuum sublimation plants with various methods of energy supply.

Keywords: bacterial concentrate, freezing, freeze-drying, energy saving

Для цитирования
Пойманов В.В., Гришанова Д.С., Антипов С.Т. Исследование процессов замораживания и вакуум-сублимационной сушки бактериальных концентратов для молочной отрасли // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 19–24. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-19-24

For citation
Poymanov V.V., Grishanova D.S., Antipov S.T. Investigation of the processes of freezing and freeze-drying of bacterial concentrates for the dairy industry. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 19–24. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-19-24

Введение

Концепция «функционального питания» как самостоятельное научное и прикладное направление в области здорового питания сложилась в начале 90-х годов прошлого века. Она заключается в индивидуальном подходе к пищевому рациону человека с учетом пола, возраста, региона проживания, физиологического состояния, профессиональной деятельности.

Под термином «функциональные пищевые продукты» (ФПП) понимают такие продукты питания, которые предназначены для систематического употребления в составе пищевых рационов всеми возрастными группами здорового населения в целях снижения риска развития заболеваний, связанных с питанием, сохранения и улучшения здоровья благодаря наличию в их составе физиологически функциональных пищевых ингредиентов [1–4].

В настоящее время в Российской Федерации и за рубежом динамично развивается производство ФПП. Значительная доля от общего объема производства таких продуктов приходится на молочную продукцию, причем до 85% из них составляют продукты с пробиотиками, пребиотиками и синбиотиками.

В функциональных молочных продуктах обязательно присутствие живых культур пробиотиков. Научно-техническим основам получения пробиотических молочнокислых заквасок и бактериальных концентратов посвящено множество работ отечественных и зарубежных ученых.

Производство продуктов с пробиотической направленностью базируется на использовании стартовых культур микроорганизмов, которые вводятся в виде бактериальных заквасок и концентратов.

Бактериальными закваскими называют чистые культуры или смесь культур микроорганизмов, используемых при изготовлении молочных продуктов.

Бактериальный концентрат представляет собой концентрированную биомассу, в которой количество клеток на два-три порядка выше, чем в закваске. Применение бактериальных концентратов позволяет интенсифицировать процесс сквашивания, снизить производственные площади и повысить санитарно-гигиенические показатели продукта. В зависимости от способа или технологии получения бактериальные закваски или концентраты подразделяют: на закваски (БЗ), при производстве которых не проводится концентрирование микробных клеток, поэтому количество колоний образующих единиц (КОЕ) в 1 $см^3$ не превышает 10 млрд; концентраты (БК), при производстве которых обязательным этапом является концентрирование бактериальной массы, поэтому в 1 г бактериального концентрата количество КОЕ более 10 млрд.

В зависимости от физического состояния бактериальные закваски и концентраты подразделяются на жидкие, сухие, замороженные; на плотных питательных средах.

Различают и способы их применения. Самый сложный и трудоемкий – это способ применения сухих заквасок, при котором используется несколько пересадок (чаще всего – три). Однако предприятия в целях интенсификации процесса сокращают количество пересадок до двух.

Бактериальные концентраты используются двумя способами: путем приготовления производственной закваски без пересадок (полупрямой метод) или прямым внесением в молоко [5].

Специалисты самостоятельно определяют способ применения бактериальных заквасок и концентратов, исходя из условий производства, опыта и знаний в области микробиологии.

Метод прямого внесения исключает часть проблем, касающихся процесса приготовления производственной закваски, но не решает проблем бактериофагии в цехах.

Совершенствование технологии производства бакконцентратов является актуальной проблемой, при этом важное место в исследованиях занимает повышение активности бакконцентратов, унификация их свойств, экономичность производства.

В настоящее время наибольшее распространение получили бакконцентраты «прямого внесения». Производство подобных бакконцентратов является наиболее динамично развивающимся сектором рынка микробиологических препаратов.

Учитывая тот факт, что мощность отечественных производителей не может удовлетворить потребность молочной отрасли в бакконцентратах, речь идет об использовании импортных аналогов.

По результатам мониторинга фирмы «Abercade consulting» лидерами по объемам поставок бакконцентратов в нашу страну являются фирмы Hr. Hansen, Danisco (Дания), Bioprox (Франция), DSM Food enrichment (Нидерданды) [5, 6].

На этом рынке отечественная продукция занимает около 9–12%. Создание наукоемкого оборудования нового поколения для производства бактериальных концентратов для предприятий молочной отрасли позволит решить проблему импортозамещения данного вида продукции.

В качестве финишной операции (консервирования) используется замораживание при низких температурах (криозамораживание) или вакуум-сублимационная сушка подготовленной бактериальной массы.

Несмотря на значительное количество исследований, посвященных получению бакконцентратов с криозамораживанием микробной массы, в нашей стране практически отсутствуют промышленные биотехнологии, имеющие значительный экономический потенциал.

Получение бактериальных концентратов «прямого внесения» является актуальной задачей и требует проведения экспериментальных работ с целью отработки технологии их производства с предварительным криозамораживанием микробной биомассы. Создание и реализация такой технологии в РФ открывает новые возможности в повышении качества и экономической эффективности бакконцентратов, способствует повышению конкурентоспособности.

Данный проект посвящен разработке финишного оборудования для производства сухих бакконцентратов. Одними из основных объектов являются скороморозильный аппарат, предназначенный для замораживания бактериальных концентратов, а также вакуум-сублимационная сушилка непрерывного действия.

Комплексный подход к созданию конкурентоспособной технологии обезвоживания термолабильных продуктов путем перехода на непрерывный способ сушки с эффективным комбинированным энергоподводом к продуктам, имеющим различную структуру, позволяет обеспечить интенсификацию процесса, низкие энергозатраты и себестоимость продукции при высоком уровне ее качества [7, 8].

Техническая идея внедряемых конструкторских разработок состоит в повышении степени автоматизации оборудования участка замораживания и сушки, что позволит снизить время на простои, увеличить рентабельность продукции.

В отличие от других пищевых продуктов сушку бакконцентратов необходимо проводить в стерильных условиях.

Совершенствование технологии и разработка оборудования должны базироваться на теоретических исследованиях закономерностей основных процессов, протекающих в аппаратах.

Бакконцентраты готовятся путем культивирования чистых культур молочнокислых бактерий на специальных жидких питательных средах с последующим отделением клеток от культуральной жидкости. Далее полученный концентрат вносят в защитную среду (криопротекторная среда), охлаждают, разливают в емкости и осуществляют удаление влаги методом вакуум-сублимационной сушки.

Качество замороженного и сухого бакконцентрата оценивается по количеству жизнеспособных клеток. На выживаемость клеток микроорганизмов оказывают влияние различные факторы: параметры процесса культивирования, концентрация и состав криопротекторной среды, температура и скорость предварительного замораживания бакконцентрата, масса дозы бакконцентрата во флаконах и т. п.

Объекты и методы

Объектами исследований на различных этапах выполнения экспериментов являлись: бактериальный концентрат мезофильных молочнокислых бактерий *Lbc. casei* и бифидобактерий *B. adolescentis*; вода дистиллированная (ГОСТ 6709–72); питательная среда Ли (ГОСТ Р 54065–2010); питательная среда для молочнокислых бактерий (ГОСТ 10444.11–89); обезжиренное молоко (ГОСТ 31658–2012); дрожжевой экстракт (ГОСТ 30134–97); сахароза (ГОСТ 5833–75); желатин (ГОСТ 11293–89); цитрат натрия (ГОСТ 31227–2013); соль поваренная (ГОСТ Р 51574–2000); фосфатный буфер с pH 7,2 (ГОСТ 9225).

В ходе исследований использовалось оборудование: шкаф электрический суховоздушный ШСвЛ-80 «Касимов» (Россия); автоклав электрический DGM Pressure Gauge (Китай); бокс биологической безопасности, Lamsystems (Россия); инкубатор LabTech LSI-301A (Корея); весы электронные аналитические AND HR-202 (Япония); pH-метр pH-150МИ, (Россия).

Для замораживания бакконцентратов использовали низкотемпературную морозильную камеру Frigera NS 400 (Чехия). Высушивали опытные образцы с помощью экспериментальной вакуум-сублимационной сушилки с комбинированной системой тепло- и хладоснабжения, состоящей из традиционной парокомпрессионной холодильной машины и термоэлектрической, позволяющей нагревать теплоноситель за счет теплоты, выделяющейся на горячих спаях модулей [2].

Для решения задач, поставленных в работе, применяли стандартные методы исследования (микробиологические, химические и физико-химические).

При постановке экспериментов биомассу бифидобактерий отделяли после различной продолжительности культивирования и соединяли с криопротекторной средой.

Полученную смесь биомассы с криопротекторной средой помещали в стерильные криопробирки, охлаждали при температуре 4–6 °С и выдерживали при данной температуре в течение 1 ч, затем замораживали при различной температуре.

При производстве бакконцентратов важным этапом является подбор рациональной с точки зрения выживаемости микроорганизмов криопротекторной среды.

В процессе замораживания на живые объекты воздействуют два фактора: формирование кристаллов внутриклеточного льда и обезвоживание. Использование криопротекторных сред и замораживание в этих средах снижает действие этих негативных факторов.

Существует большое количество веществ, которые обладают криопротекторными свойствами, но на практике используют около десяти соединений. Согласно данным различных исследователей использование проникающих криопротекторов в отсутствии непроникающих неэффективно, так как при использовании защитных сред сложного состава выживаемость биологического материала после замораживания выше.

Для оценки влияния защитных сред на выживаемость рассматривали четыре варианта:

первый вариант – цитрат натрия (м.д. раствора в среде 15,0%), молоко обезжиренное (м.д. раствора в среде 74,5%), поваренная соль (м.д. раствора в среде 10,0%), никотиновая кислота (м.д. раствора в среде 0,5%);

второй вариант – желатин (м.д. раствора в среде 12,5%), сахароза (м.д. раствора в среде 30,5%), молоко обезжиренное (м.д. раствора в среде 67,0%);

третий вариант – желатин (м.д. раствора в среде 64,0%), сахароза (м.д. раствора в среде 35,0%), цитрат натрия (м.д. раствора в среде 1,0%);

четвертый вариант – желатин (м.д. раствора в среде 54,0%), сахароза (м.д. раствора в среде 35,0%), цитрат натрия (м.д. раствора в среде 1,0%), BIOS 2000 (м.д. раствора в среде 10,0%).

При этом доля бактериальной массы составляла от 30 до 50% к общей массе [1].

Число колониеобразующих единиц (КОЕ/г) определяли чашечным методом посева в агаризованную питательную среду на основе гидролизата казеина.

Результаты и обсуждение

Одними из важных факторов, влияющих на выживаемость микроорганизмов при замораживании, являются активная кислотность (pH) и температура смешивания биомассы с криопротекторной средой. С понижением температуры смешивания от 30±1 до 20±1 °С наблюдается увеличение выживаемости бактерий, что согласуется с данными других исследователей. В результате проведенных исследований подобрали защитную среду.

Нами установлено, что наибольшая выживаемость клеток (78,6%) была в случае соединения биомассы с защитной средой № 4 в соотношении 1:1.

На втором этапе исследований выявляли влияние различных соотношений биомассы и защитных сред на выживаемость бифидобактерий при вакуум-сублимационной сушке. Максимальное значение (89,5%) наблюдалась при соединении биомассы и защитной среды № 4 в соотношении 1:2.

Подбор оптимальных режимов процессов замораживания и сублимационной сушки важен, поскольку микроорганизмы под действием низких температур могут претерпевать внутриклеточные и внеклеточные изменения [11, 12].

Для установления влияния температуры предварительного замораживания на выживаемость клеток биомассу бифидобактерий и молочнокислых бактерий смешивали с защитной средой в соотношениях, выбранных по результатам предыдущих исследований [9, 10].

Суспензию замораживали при различных температурных режимах (-20±1), (-35±1) и (-50±1) °С. Бакконцентрат хранили в течение 48 ч, а затем направляли на вакуум-сублимационную сушку. Установили, что обе культуры имеют наибольшую выживаемость при температуре предварительного замораживания (-50±1) °С. Кинетика замораживания бакконцентрата представлена на рисунке 1.

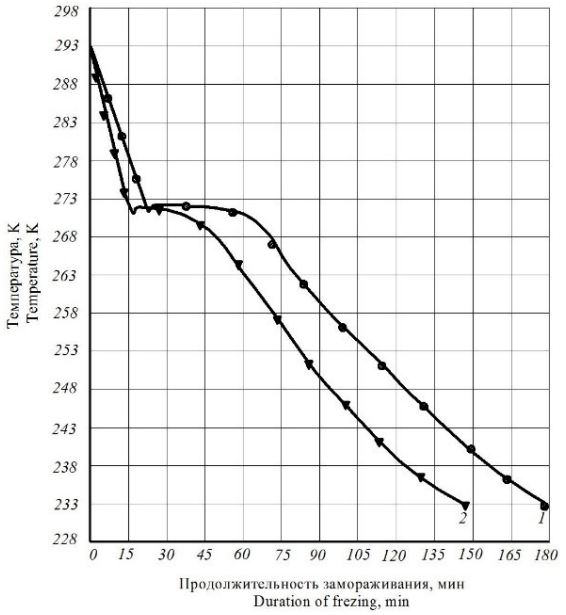


Рисунок 1. Зависимость температуры бактериального концентрата от продолжительности замораживания и температуры воздуха: 1 – $t_в$ = -50 °С, м. д. бактериальной массы 30%; 2 – $t_в$ = -50 °С, м. д. бактериальной массы 50%

Figure 1. Temperature dependence of the bacterial concentrate on the duration of freezing and air temperature: 1 – t_v = -50 °C, m. f. of bacterial mass 30%; 2 – t_v = -50 °C, m. f. of bacterial mass 50%

Замораживание при температуре воздуха (-20±1) °С ведёт к большой гибели клеточной массы (выживаемость находится в пределах 68–72%).

Выживаемость после замораживания при температуре (-35±1) °С при прочих равных условиях была меньше, чем при (-50±1) °С – для бифидобактерий на 20–23%, а для молочнокислых бактерий – на 16–18%.

Как известно, при вакуум-сублимационной сушке выживаемость биомассы зависит от многих факторов: величины остаточного давления в сублиматоре, плотности теплового потока к высушиваемому продукту и т. п.

Нами сконструирована вакуум-сублимационная сушилка с комбинированной системой тепло- и хладоснабжения, позволяющая проводить процесс обезвоживания бактериальных концентратов в широком диапазоне параметров. Экономия энергии достигается за счет использования в десублиматоре традиционной парокомпрессионной холодильной машины и термоэлектрической, позволяющей нагревать теплоноситель за счет теплоты, выделяющейся на горячих спаях модулей.

Она состоит из сублиматора в виде герметичной камеры, при этом сублиматор выполнен в виде цилиндра с крышкой, внутри которого расположены теплопередающие плиты, выполняющие роль продуктовых полок для размещения противней с продуктом.

Парокомпрессионная холодильная установка включает испаритель, низкотемпературный компрессор, конденсатор и терморегулирующий вентиль. Термоэлектрическая холодильная установка состоит из блока термоэлектрических модулей и охлаждающего контура, позволяющего поддерживать температуру на холодной поверхности термоэлементов от -50 до –60 °С. В охлаждающем контуре циркулирует теплоноситель (силиконовое масло и т. п.), нагревающийся за счет теплоты, выделяющейся на горячих спаях термоэлементов. Контур связан посредством теплообменника с теплопередающими плитами.

Для изучения влияния технологических параметров вакуум-сублимационной сушки на качество готового бакконцентрата выполнена серия экспериментов.

Сушка осуществлялась до конечной влажности материала 3,0–3,2%, при этом остаточное давление в камере изменялось в диапазоне 10–50 Па, плотность теплового потока – от 1,2 до 1,8 кВт/м^2).

Установлено, что максимальная выживаемость клеток бифидобактерий достигается при следующих параметрах вакуум-сублимационной сушки: остаточное давление 20–25 Па, плотность теплового потока – от 1,5 до 1,6 кВт/м^2; а для молочнокислых бактерий – от 15 до 20 Па и 1,4–1,5 кВт/м^2.

Заключение

Для увеличения количества жизнеспособных микроорганизмов в 1 г концентрата, сокращения времени высушивания до достижения необходимой влажности продукта нами установлены рациональные режимы: температура замораживания от -47 до –48 °С, остаточное давление 15–20 Па, плотность теплового потока – от 1,4 до 1,5 кВт/м^2.

ЛИТЕРАТУРА

1 Шахов С.В., Мосолов Г.И., Барыкин Р.А. Разработка вакуум-сублимационной сушилки для обезвоживания жидких продуктов // Вестник Международной академии холода. 2014. № 3. С. 58–60.

2 Пойманов В.В., Ященко С.М., Барыкин Р.А. Исследование процесса вакуум-сублимационной сушки бактериальных концентратов для мясной отрасли с использованием криозамораживания // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2016. № 1. С. 25–30. doi: 10.20914/2310–1202–2016–1–25–30.

3 Семенов Г.В. Вакуумная сублимационная сушка. Москва: Дели плюс, 2013. 264 с.

4 Игнатов В.Е., Пойманов В.В., Нестеров Д.А. Исследование процесса вакуум-сублимационной сушки бактериальных концентратов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2013. № 1. С. 27–29. doi: 10.20914/2310–1202–2016–1–25–30.

5 Семенов Г.В., Краснова И.С., Петков И.И. Выбор режимных параметров вакуумной сублимационной сушки сухих термолабильных материалов с заданным уровнем качества // Вестник Международной академии холода. 2017. № 1. С. 18–24. doi: 10.21047/1606–4313–2017–1–18–24.

6 Барыкин Р.А, Пойманов В.В., Шахов С.В. Разработка вакуум-сублимационных сушилок с использованием термоэлектрических модулей // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2014. № 1. С. 47–50. doi: 10.20914/2310–1202–2014–1–47–50.

7 Белозерцев А.С., Прибытков А.В. Комплексное исследование процесса вакуум-сублимационного обезвоживания продукта на основе форменных элементов крови убойных животных с применением СВЧ-энергоподвода // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2013. № 2. С. 20–24. doi: 10.20914/2310–1202–2013–2–20–24.

8 Потапов А.И., Рязанов А.Н., Белозерцев А.С., Прибытков А.В. Разработка конструкции лиофильной сушилки для термолабильных продуктов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2013. № 3. С. 44–48. doi: 10.20914/2310–1202–2013–3–44–48.

9 Титов Е.И., Семенов Г.В., Кидяев С.Н., Литвинова Е.В. Получение высококачественных сухих модифицированных коллагенсодержащих продуктов с использованием сублимационной сушки // Вестник Международной академии холода. 2016. № 3. С. 27–30. doi: 10.21047/1606–4313–2016–3–27–30.

10 Раскошная Т.А., Семенихина В.Ф., Рожкова И.В., Бегунова А.В. Разработка питательной среды и режимов культивирования *Lactobacillus reuteri* для получения бактериального концентрата // Техника и технология пищевых производств. 2016. Т. 42. № 3. С. 56–62.

11 Каухчешвили Н.Э., Харитонов А.Ю., Сорокина Н.П., Смирнов Е.А. Вакуумная сушка бактериальных концентратов и заквасок молочнокислых бактерий // Молочная промышленность. 2011. № 5. С. 30–31.

12 Крумликов В.Ю., Остроумов Л.А., Сухих С.А., Кригер О.В. Подбор параметров стабилизации (замораживание и сушка) симбиотического консорциума с целью получения закваски прямого внесения // Техника и технология пищевых производств. 2016. Т. 42. № 3. С. 25–30.

REFERENCES

1 Shakhov S.V., Mosolov G.I., Barykin R.A. Development of the vacuum freeze-dryer for dehydration of liquid products. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda* [Proceedings of the International Academy of Refrigeration]. 2014. no. 3. pp. 58–60. (in Russian)

2 Poymanov V.V., Yaschenko S.M., Barykin R.A. Investigation of the process of vacuum freeze drying of bacterial concentrates for the meat industry with cryogenic freezing. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhologij* [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies]. 2016. no. 1. pp. 25–30. (in Russian). doi: 10.20914/2310–1202–2016–1–25–30.

3 Semenov G.V. Vacuum freeze drying. Moscow, Delhi plus. 2013. 264 p. (in Russian)

4 Ignatov V.E., Poymanov V.V., Nesterov D.A. Research of bacterial concentrates freeze-drying process. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhologij* [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies]. 2013. no. 1. pp. 27–29. (in Russian).

5 Semenov G.V., Krasnova I.S., Petkov I.I. The choice of parameters for vacuum freeze-drying of dry heat-sensitive material with predetermined properties. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda* [Proceedings of the International Academy of Refrigeration]. 2017. no. 1. pp. 18–24. (in Russian). doi: 10.21047/1606–4313–2017–1–18–24.

6 Barykin R.A., Poymanov V.V., Shakhov S.V. Development of vacuum sublimation dryers using thermoelectric modules. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhologij* [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies]. 2014. no. 1. pp. 47–50. (in Russian). doi: 10.20914/2310–1202–2014–1–47–50.

7 Belozertsev A.S., Pribytkov A.V. A comprehensive study of the process of vacuum sublimation dehydration product based on blood cells of slaughtered animals with the use of microwave energy supply. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhologij* [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies]. 2013. no. 2. pp. 20–24. (in Russian). doi: 10.20914/2310–1202–2013–2–20–24

8 Potapov A.I., Ryazanov A.N., Belozertsev A.S., Pribytkov A.V. Development of the construction freeze dryers for heat-sensitive products. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhologij* [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies]. 2013. no. 3. pp. 44–48. (in Russian). doi: 10.20914/2310–1202–2013–3–44–48.

9 Titov E.I., Semenov G.V., Kidyaev S.N., Litvinova E.V. Production of high-quality dry modified collagen products by means of freeze-drying. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda* [Proceedings of the International Academy of Refrigeration]. 2016. no. 3. pp. 27–30. (in Russian). doi: 10.21047/1606–4313–2016–3–27–30.

10 Raskoshnaya T.A., Semenikhina V.F., Rozhkova I.V., Begunova A.V. Development of nutrient medium and cultivation regimes of *Lactobacillus reuteri* for bacterial concentrate production. *Tehnika i tehnologiya pischevyh proizvodstv* [Food Processing: Techniques and Technology]. 2016. vol. 42. no. 3. pp. 56–62. (in Russian).

11 Kauhcheshvili N.E., Haritonov A.Yu., Sorokina N.P., Smirnov E.A. Vacuum drying of the bacterial concentrates and lactic acid bacteria starter cultures. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy Industry]. 2011. no. 5. pp. 30–31. (in Russian).

12 Krumlikov V.Yu., Ostroumov L.A., Sukhikh S.A., Kriger O.V. Choice of stabilization parameters (freezing and drying) of symbiotic consortium to obtain a starter of direct inoculation. *Tehnika i tehnologiya pischevyh proizvodstv* [Food Processing: Techniques and Technology]. 2016. vol. 42. no. 3. pp. 25–30. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Владимир В. Пойманов к.т.н., доцент, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, v-poymanov@yandex.ru

Дарья С. Гришанова магистрант, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, deidara4.12@mail.ru

Сергей Т. Антипов д.т.н., профессор, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия,

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 21.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 07.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Vladimir V. Poymanov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, apparatus and devices of food productions department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, v-poymanov@yandex.ru

Daria S. Grishanova master student, apparatus and devices of food productions department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, deidara4.12@mail.ru

Segey T. Antipov Dr. Sci. (Engin.), professor, apparatus and devices of food productions department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia,

CONTRIBUTION

Authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.21.2018

ACCEPTED 11.7.2018

Оригинальная статья / Original article

УДК 637.5.04

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-25-29

Исследование влияния влагосодержания говядины на количество связанной влаги калориметрическим методом

Юрий М. Березовский [1] birjuza1@mail.ru
Игорь А. Королев [1] korolev.vnihi@mail.ru
Ирина В. Агафонкина [1] agafonkina.vnihi@yandex.ru
Тарас А. Саранцев [1] codyjeps@gmail.com

[1] Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, ул. Костякова, 12, г. Москва, 127422, Россия

Аннотация. С развитием процессов обработки и хранения пищевых продуктов при близкриоскопических температурах все большее внимание уделяется разработке методов расчета вымороженной влаги и криоскопической температуры на основе данных об их компонентном составе. Среди существующих экспериментальных данных различных исследователей и методов расчета для теплофизических свойств говядины наблюдается значительная дисперсия. В представленном исследовании авторами методом дифференциальной сканирующей калориметрии определены энтальпия фазовых переходов, теплоемкость говядины с различным влагосодержанием и ее криоскопическая температура. На основе анализа энтальпии фазовых переходов установлено, что доля незамерзающей воды для говядины составляет n = 0,35 (г воды на 1 г сухого вещества). Установлено наличие стекловидной фазы в области температур около минус 85°С, наиболее заметно проявляющийся при влагосодержании образцов *w* = 37–45,8%, что говорит о формировании аморфных растворов в процессе замораживания пищевых продуктов. Начало пика плавления влаги $T_{н.п.}$ имеет место при температурах от минус 35 °С до минус 25 °С, соответственно для образцов с низким и нормальным влагосодержанием. На основании теоретического соотношения Хелдмана предложена зависимость для расчета криоскопической температуры. Представленные полуэмпирические зависимости энтальпии фазовых переходов и доли вымороженной влаги обеспечивают повышение точности расчетов при низких значениях влагосодержания в продукте. Результаты исследований могут быть использованы в качестве исходных данных при математическом моделировании процессов теплообмена и разработке методов расчета теплофизических свойств пищевых продуктов на основе их компонентного состава.

Ключевые слова: говядина, фазовый переход, влагосодержание, вымороженная вода, криоскопическая температура

Investigation of the effect of beef moisture content on the amount of bound moisture with the calorimetric method

Yuriy M. Berezovskiy [1] birjuza1@mail.ru
Igor A. Korolev [1] korolev.vnihi@mail.ru
Irina V. Agafonkina [1] agafonkina.vnihi@yandex.ru
Taras A. Sarancev [1] codyjeps@gmail.com

[1] All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry – Branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, Kostyakova str., 12 Moscow, 127422, Russia

Abstract. With the development of food processing and storage at near-cryoscopic temperatures, more and more attention is being paid to the development of methods for frozen out moisture and cryoscopic temperature calculating based on their component composition data. There is a significant dispersion among the existing experimental data of various researchers and calculation methods for beef thermophysical properties. In the study given, the authors determined the enthalpy of phase transitions, beet heat capacity with different moisture content and its cryoscopic temperature with the method of differential scanning calorimetry. With the analysis of the phase transitions enthalpy, it was found out that the share of non-freezing water for beef is n = 0.35 (g of water per 1 g of dry matter). The presence of the vitreous phase in the temperature range of about -85 ° C was established, most noticeably manifested when the moisture content of the samples is w = 37–45.8%, which indicates the formation of amorphous solutions in the process of food products freezing. Beginning of moisture melting peak Tm.b. takes place at temperatures range from -35 ° C till -25 ° C for the samples with low and normal moisture content respectively. Acccording to the theoretical Heldman ratio, a dependence for cryoscopic temperature calculating was proposed . The given semi-empirical dependences of the phase transitions enthalpy and the frozen moisture fraction provide an increase in the accuracy of calculations at low values of moisture content in the product. The research results can be used as input data in mathematical modeling of heat exchange processes and the development of calculating methods for the thermophysical properties of food products based on their composition.

Keywords: beef, phase transition, moisture content, outfrozen water, cryoscopic temperature

Для цитирования

Березовский Ю.М., Королев И.А., Агафонкина И.В., Саранцев Т.А. Исследование влияния влагосодержания говядины на количество связанной влаги калориметрическим методом // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 25–29. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-25-29

For citation

Berezovskiy Yu.M., Korolev I.A., Agafonkina I.V., Sarancev T.A. Investigation of the effect of beef moisture content on the amount of bound moisture with the calorimetric method. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 25–29. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-25-29

Введение

Широко используемые в пищевой промышленности процессы консервации и холодильной обработки неразрывно связаны с теплообменными и биохимическими процессами. В настоящее время все больший интерес уделяется вопросам переохлаждения и хранения мясопродуктов при близкриоскопических температурах [2, 7], обеспечивающих продление сроков годности и сохранения качества продуктов, что подтверждает высокую актуальность проводимых исследований.

Существует значительный массив экспериментальных данных по теплофизическим характеристикам и составу широкого класса пищевых продуктов и полуэмпирических методов расчета их ТФХ [1, 3, 5, 10, 11]. При этом исследователи [11] отмечают преобладание информации о ТФХ говядины и наличие большой дисперсии в экспериментальных данных, полученных разными исследователями для одних и тех же образцов мяса.

Значительную долю в компонентном составе мясопродуктов составляет влага. В работе [9] было показано, что закон аддитивности теплоемкости может применяться лишь ограниченно при расчете свойств пищевых продуктов, поскольку не учитывает состояние связанной воды, а доля незамерзающей воды для мяса составляет n = 0,35 (г на 1 г сухого вещества).

На основе данных различных исследователей Д.Г. Рютовым [4] было получено соотношение, описывающее количество вымороженной влаги, следующего вида:

$$\omega = \left[1 - b\frac{1-w}{w}\right] \cdot \left[1 - \frac{t_{кр}}{t}\right], \qquad (1)$$

где b – содержание связанной воды в продукте (b = 0,257 для говядины); w – общее влагосодержание воды; $t_{кр}$ – криоскопическая температура продукта, °С.

Рютов Д.Г. отмечает, что количество незамерзающей воды, по данным Риделя Л. [9] (n = 0,35 (г на 1 г сухого вещества), несколько завышено, поскольку не учитывается свободная вода, находящаяся при температурах выше эвтектической. Для говядины количество связанной влаги составляет b = 0,257 (г на 1 г сухого вещества).

С целью совершенствования способов описания ТФХ пищевых продуктов интересно изучить влияние влагосодержания образцов мяса говядины на количество содержащейся в них вымороженной влаги при помощи современных калориметрических методов.

Методы исследования

В представленной работе теплоемкость и энтальпия фазового перехода образцов были исследованы на дифференциальном сканирующем калориметре (ДСК) NETZSCH DSC 204 F1. Подробная информация о методике проведения ДСК измерений, температурной программе и обработке экспериментальных данных, используемых авторами, приводится в работе [6]. Относительная погрешность при измерении энтальпии фазовых переходов не превышала ±3%. Для измерения криоскопической температуры образцов был использован осмометр-криоскоп КИВИ ОСКР-1, погрешность измерений которого составляет ±0,002 °С.

Подсушивание образцов говядины выполнялось путем сублимационной сушки, после чего они помещались в тигль для ДСК измерений. В дальнейшем осуществлялось вскрытие тигля и сушка образца в термостате при температуре воздуха 100 °С с целью определения его влагосодержания.

Результаты и обсуждение

Полученные в отрицательной зоне температур при нагреве образцов результаты ДСК исследований говядины с различным влагосодержанием представлены на рисунке 1. Их анализ показывал, что начало пика плавления $T_{н.п.}$ имеет место при температурах от минус 35 до минус 25 °С, для образцов с низким и нормальным влагосодержанием. Дополнительно при температуре минус 85 °С установлен фазовый переход стеклования содержащейся в образцах связанной влаги, наиболее заметно проявляющийся при влагосодержании образцов w = 37,0–45,8%, что говорит о формировании аморфных растворов в процессе замораживания пищевых продуктов.

Проведенные результаты измерения энтальпии фазового перехода показали, что площадь пика плавления в зависимости от влагосодержания полностью соответствует значениям, полученным в работе [9], согласно которым доля незамерзающей воды для мяса составляет n = 0,35 (г на 1 г сухого вещества). Таким образом, доля замерзающей воды в зависимости от влагосодержания продукта может быть рассчитана как

$$\omega_з(w) = \left[1 - 0{,}35 \cdot \frac{1-w}{w}\right], \qquad (2)$$

где w – доля влагосодержания в исследованных образцах.

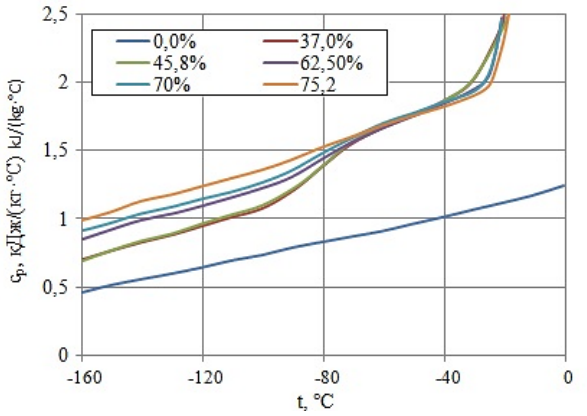


Рисунок 1. Удельная теплоемкость образцов говядины с различным влагосодержанием в отрицательной области температур

Figure 1. Specific heat capacity of beef samples with different moisture content in the low temperature range

С учетом этого энтальпия фазового перехода образцов говядины с различным влагосодержанием может быть рассчитана как

$$\Delta i_{ф.п.} = L \cdot w \cdot \omega_з , \qquad (3)$$

где L – теплота фазового перехода воды; L = 334 кДж/кг.

Сравнение результатов расчетов по соотношению (2) с полученными экспериментальными данными показало высокую сходимость результатов (рисунок 2).

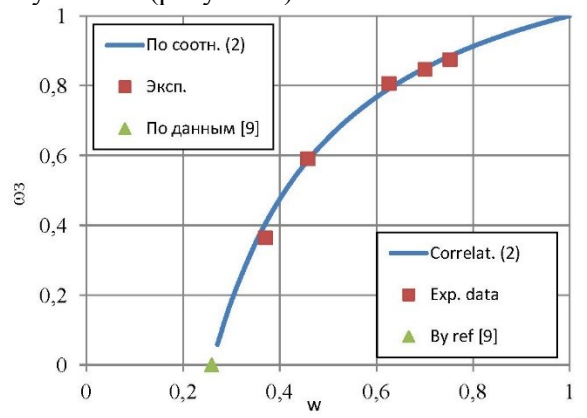


Рисунок 2. Сравнение расчетных и экспериментальных данных по доле замерзающей влаги для говядины с различным влагосодержанием

Figure 2. Comparison of predicted and experimental data on the of frozen water fraction for beef with different moisture content

При численных расчетах ТФХ говядины по существующим формулам доли вымороженной влаги выявлены завышенные значения теплоемкости образцов в области температур ниже начала пика плавления, поскольку у них

$$\left.\frac{d\omega}{dT}\right|_{T \le T_{н.п.}} \neq 0 . \qquad (4)$$

С учетом полученных экспериментальных данных можно установить дополнительные требования к функции, описывающей количество вымерзшей влаги:

$$\omega\left(T_{н.п.}\right) = \omega_з\left(w\right), \qquad (5)$$

$$\left.\frac{d\omega(T)}{dT}\right|_{T=T_{н.п.}} = 0 . \qquad (6)$$

С использованием указанных дополнительных требований зависимость (1) принимает следующий вид:

$$\omega(t,w) = \omega_з(w) \cdot \frac{1 - \frac{t_{кр}}{t} - \frac{t_{кр}}{t_з^2}\left(t - t_{кр}\right)}{\left[1 - \frac{t_{кр}}{t_з}\right]^2} \qquad (7)$$

Сравнение расчетов по зависимостям (1) и (7) с полученными авторами экспериментальными данными по доле вымороженной влаги представлено на рисунке 3.

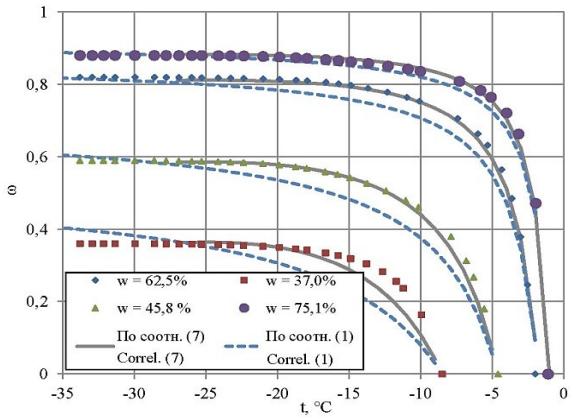


Рисунок 3. Экспериментальные данные и результаты расчета количества вымороженной влаги в говядине с различным влагосодержанием

Figure 3. Experimental data and prediction results of the ice fraction in beef with different moisture content

При расчетах вымороженной влаги необходимо также знание криоскопической температуры. К настоящему времени широко известно соотношение Д.Р. Хелдмана [8], устанавливающее связь между криоскопической температурой и активностью воды для идеальных растворов, основанное на зависимости Клапейрона-Клаузиуса:

$$\ln\left(a_w\right) = \frac{-\Delta H_f}{R} \cdot \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_f}\right], \qquad (8)$$

где T и T_f – соответственно криоскопическая температура раствора и чистой воды, К; R – универсальная газовая постоянная, R = 8,314 Дж/(моль·°С); α_w – активность воды; ΔH_f – теплота фазового перехода воды, ΔH_f = 6013 Дж/моль.

Наибольшее влияние на активность воды и депрессию криоскопической температуры оказывают соли и иные низкомолекулярные вещества, входящие в состав продукта, а влияние белков и углеводов незначительно ввиду их высокой молекулярной массы. С практической точки зрения расчет активности воды для говядины и прочих сырых пищевых продуктов животного и растительного происхождения значительно проще выполнять не на основе данных о составе и количестве низкомолекулярных веществ, а рассматривая сухое вещество в целом, используя приведенные значения молекулярной массы и числа диссоциации. На основе полученных экспериментальных данных по криоскопической температуре их приведенное расчетное значение для сухого вещества говядины составляет $\eta_s / M_s = 455$ г /моль.

С учетом известной доли замерзающей влаги активность воды в «растворе сухого вещества» может быть рассчитана по соотношению [12]:

$$\alpha_w = \frac{\omega_з}{\omega_з + \dfrac{M_w \cdot \eta_s \cdot (1-w)}{M_s}}, \qquad (9)$$

где M_w и M_s – соответственно молярная масса воды и приведенная молярная растворенного (сухого) вещества, $M_w = 18$ г/моль; η_s – приведенное число диссоциации для сухого вещества.

С учетом соотношений (8) и (9) криоскопическая температура для говяжьего мяса с различным влагосодержанием может быть рассчитана как

$$T_{кр} = \frac{1}{\dfrac{1}{T_f} - \dfrac{R \cdot \ln(X_w)}{\Delta H_f}}. \qquad (10)$$

Сравнение результатов расчетов криоскопической температуры по соотношению (10) с полученными авторами экспериментальными данными представлено на рисунке 4. В рамках дальнейших исследований представляет интерес продолжить теоретическую работу [12] и изучить возможности описания криоскопической температуры образцов различных фаршей и прочих мясопродуктов с наличием в них солей, в том числе для готовых продуктов.

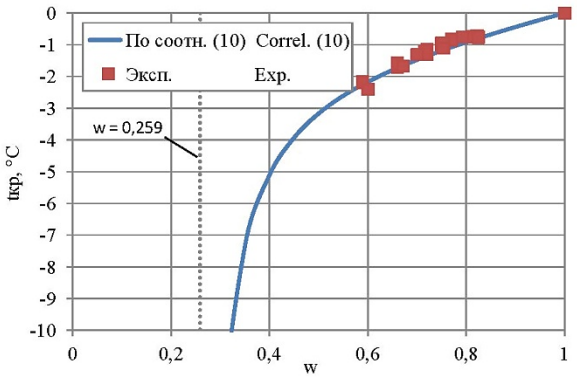


Рисунок 4. Сравнение экспериментальных данных с расчетными значениями криоскопической температуры говядины различной влажности

Figure 4. Comparison of experimental data with predicted values of cryoscopic temperature of beef with different moisture content

Заключение

Экспериментально методом ДСК были исследованы удельная изобарная теплоемкость, теплота фазовых переходов и криоскопическая температура для образцов говядины с различным влагосодержанием. Подтверждены результаты исследований Л. Риделя, согласно которым доля незамерзающей воды для мяса составляет $n = 0{,}35$ (г на 1 г сухого вещества). Показано наличие стекловидной фазы.

На основе соотношения Д.Р. Хелдмана разработана зависимость для описания криоскопической температуры мяса говядины с различным влагосодержанием. Предложены полуэмпирические соотношения для расчета теплоты фазовых переходов и доли вымороженной влаги говядины в зависимости от их влагосодержания, обеспечивающие значительно лучшую точность при низких значениях влагосодержания.

Полученные эмпирические данные и зависимости могут быть использованы в качестве исходных данных при математическом моделировании и оптимизации процессов теплообмена в пищевой промышленности и для разработки методов расчета теплофизических свойств пищевых продуктов на основе их компонентного состава.

ЛИТЕРАТУРА

1 Гинзбург А.С. Теплофизические характеристики пищевых продуктов. Справочник. М.: Агропромиздат, 1990. 288 с.

2 Дибирасулаев М.А. и др. Влияние субкриоскопической температуры хранения на количество вымороженной воды в nor и DFD говядине // Теория и практика переработки мяса. 2016. Т. 1. №. 2. С. 18–23.

3 Латышев В.П., Цирульникова Н.А. Рекомендуемые справочные материалы для проведения тепловых расчётов пищевых продуктов. М.: НПО «Агрохолодпром», 1992. 86 с.

4 Рютов Д.Г. Влияние связанной воды на образование льда в пищевых продуктах при их замораживании // Холодильная техника. 1976. №. 5. С. 32–37.

5 ASHRAE Handbook. Refrigeration. 2014.

6 Belozerov A.G. et al. A Study of the Thermophysical Properties of Human Prostate Tumor Tissues in the Temperature Range from-160 to+ 40° C // Biophysics. 2018. V. 63. №. 2. P. 268–273.

7 Kaale L.D. et al. Superchilling of food: A review // Journal of food engineering. 2011. V. 107. №. 2. P. 141–146.

8 Pongsawatmanit R., Miyawaki O. Measurement of temperature-dependent ice fraction in frozen foods // Bioscience, biotechnology, and biochemistry. 1993. V. 57. №. 10. P. 1650–1654.

9 Riedel L. The problem of bound water in meat // Refrigeration. 1961. V. 13. P. 122.

10 Sanz P.D., Alonso M.D., Mascheroni R.H. Thermophysical properties of meat products: General bibliography and experimental values // Transactions of the ASAE. 1987. V. 30. №. 1. P. 283–290.

11 Thermal Properties of Meat – Tabulated Data. Agricultural Research Council, 1972.

12 Van der Sman R.G.M., Boer E. Predicting the initial freezing point and water activity of meat products from composition data // Journal of Food Engineering. 2005. V. 66. №. 4. P. 469–475.

REFERENCES

1 Ginzburg A.S. Teplofizicheskie harakteristiki pishchevyh produktov. Spravochnik [Thermophysical characteristics of food products]. Moscow, Agropromizdat, 1990. 288 p. (in Russian).

2 Dibirasulaev M.A. et al. Effect of sub-cryoscopic storage temperature on the amount of frozen water in nor and DFD beef. *Teoriya i praktika pererabotki myasa* [Theory and practice of meat processing]. 2016. vol. 1. no. 2. pp. 18–23. (in Russian).

3 Latyshev V.P., Tsirulnikova N.A. Rekomenduemye spravochnye materialy dlya provedeniya teplovyh raschyotov pishchevyh produktov [Recommended reference materials for conducting thermal calculations of foods]. Moscow, NPO «Agroholodprom», 1992. 86 p. (in Russian).

4 Ryutov D.G. Influence of bound water on the formation of ice in food products during their freezing. *Holodil'naya tekhnika* [Refrigeration equipment]. 1976. no. 5. pp. 32–37. (in Russian).

5 ASHRAE Handbook. Refrigeration. 2014.

6 Belozerov A.G. et al. A Study of the Thermophysical Properties of Human Prostate Tumor Tissues in the Temperature Range from-160 to+ 40° C. Biophysics. 2018. vol. 63. no. 2. pp. 268–273.

7 Kaale L.D. et al. Superchilling of food: A review. Journal of food engineering. 2011. vol. 107. no. 2. pp. 141–146.

8 Pongsawatmanit R., Miyawaki O. Measurement of temperature-dependent ice fraction in frozen foods. Bioscience, biotechnology, and biochemistry. 1993. vol. 57. no. 10. pp. 1650–1654.

9 Riedel L. The problem of bound water in meat. Refrigeration. 1961. vol. 13. pp. 122.

10 Sanz P.D., Alonso M.D., Mascheroni R.H. Thermophysical properties of meat products: General bibliography and experimental values. Transactions of the ASAE. 1987. vol. 30. no. 1. pp. 283–290.

11 Thermal Properties of Meat – Tabulated Data. Agricultural Research Council, 1972.

12 Van der Sman R.G.M., Boer E. Predicting the initial freezing point and water activity of meat products from composition data. Journal of Food Engineering. 2005. vol. 66. no. 4. pp. 469–475.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Юрий М. Березовский д.т.н., зав. лаб., лаборатория исследования теплофизических свойств пищевых продуктов, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, ул. Костякова, 12, г. Москва, 127422, Россия, birjuza1@mail.ru

Игорь А. Королев аспирант, м.н.с., лаборатория исследования теплофизических свойств пищевых продуктов, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, ул. Костякова, 12, г. Москва, 127422, Россия, korolev.vnihi@mail.ru

Ирина В. Агафонкина аспирант, м.н.с., лаборатория исследования теплофизических свойств пищевых продуктов, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, ул. Костякова, 12, г. Москва, 127422, Россия, agafonkina.vnihi@yandex.ru

Тарас А. Саранцев лаборант-исследователь, лаборатория исследования теплофизических свойств пищевых продуктов, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, ул. Костякова, 12, г. Москва, 127422, Россия, codyjeps@gmail.com

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Юрий М. Березовский предложил методику проведения эксперимента и организовал производственные испытания
Игорь А. Королев написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат
Ирина В. Агафонкина провела эксперимент, выполнила расчёты
Тарас А. Саранцев провел эксперимент, выполнил расчёты

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 12.10.2018
ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 15.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Yuriy M. Berezovskiy Dr. Sci. (Engin.), Head. lab., research laboratory of Food Products Thermophysical Properties, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry – Branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS , Kostyakova str., 12 Moscow, 127422, Russia, birjuza1@mail.ru

Igor A. Korolev graduate student, junior research assistant, research laboratory of Food Products Thermophysical Properties, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry – Branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, Kostyakova str., 12 Moscow, 127422, Russia, korolev.vnihi@mail.ru

Irina V. Agafonkina graduate student, junior research assistant, research laboratory of Food Products Thermophysical Properties, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry – Branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, Kostyakova str., 12 Moscow, 127422, Russia, agafonkina.vnihi@yandex.ru

Taras A. Sarancev laboratory researcher, research laboratory of Food Products Thermophysical Properties, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry – Branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, Kostyakova str., 12 Moscow, 127422, Russia, codyjeps@gmail.com

CONTRIBUTION

Yuriy M. Berezovskiy proposed a scheme of the experiment and organized production trials
Igor A. Korolev wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Irina V. Agafonkina conducted an experiment, performed computations
Taras A. Sarancev conducted an experiment, performed computations

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.12.2018
ACCEPTED 11.15.2018

Краткое сообщение/Short message

УДК 664:303.723

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-30-34

Определение сглаживающей способности вибрационного смесителя на основе корреляционного анализа

Дмитрий М. Бородулин [1] borodulin_dmitri@list.ru
Андрей Б. Шушпанников [2] 3089961@mail.ru
Татьяна В. Зорина [1] tanya.kaznacheeva.92@mail.ru
Евгений А. Шушпанников [1] Anovladi@mail.ru
Виталий Н. Иванец [1] tppp@kemsu.ru

[1] Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650043, Россия
[2] Кемеровский государственный сельскохозяйственный институт, ул. Марковцева, 5, г. Кемерово, 650056, Россия

Аннотация. В настоящее время всё большую популярность получают пищевые полуфабрикаты из сыпучих материалов (СМ). С увеличением объема их производства порошкообразные материалы целесообразно смешивать в смесителях непрерывного действия (СНД). Для установившихся режимов работы СНД движение материала внутри аппарата принято считать случайными стационарными процессами, между которыми существует причинно-следственная связь. Основными показателями для ее оценки является коэффициент корреляции, математическое ожидание и дисперсия. Связь между входящим и выходящим из аппарата сигналами устанавливают с помощью уравнений материального баланса, описывая расходы потоков сыпучего материала случайными стационарными функциями X(t). Далее, находя вероятностные характеристики входящего и выходящего сигналов, можно судить о «качестве» работы смесителя или подбирать требуемую топологию потоков внутри аппаратной среды путем сравнения отношений их дисперсий или среднеквадратичных отклонений. В данной работе рассмотрена схема движения материальных потоков в разработанном нами смесителе, реализующем метод "последовательного разбавления". При помощи системы уравнений материального баланса, отображающего процесс движения материала в СНД вибрационного типа, рассмотрено влияние рециркуляции на сглаживающие свойства аппарата. Приведены значения величины сглаживающей способности *S* от коэффициента рециркуляции α и количества витков *n*. Выявлено, что увеличение сглаживающей способности ведет к возрастанию количества витков, а соответственно и самих габаритов СНД вибрационного типа, следовательно, целесообразно использовать смеситель с количеством витков равном 6 и коэффициентом рециркуляции равным 0,7, так как при этом сглаживающей способности равной 1753 достаточно для получения качественной готовой смеси при соотношении компонентов 1:50. С помощью корреляционного анализа возможно прогнозировать однородность материального потока на выходе аппарата при известных значениях времени нахождения в нем материала, коэффициентах рециркуляции и дисперсии входного сигнала.

Ключевые слова: смеситель, сыпучие материалы, последовательное разбавление, корреляционный анализ, математическая модель

Determination of the smoothing ability of the vibration mixer on the basis of the correlation analysis

Dmitry M. Borodulin [1] borodulin_dmitri@list.ru
Andrey B. Shushpannikov [2] 3089961@mail.ru
Tatyana V. Zorina [1] tanya.kaznacheeva.92@mail.ru
Evgeniy A. Shushpannikov [1] Anovladi@mail.ru
Vitaliy N. Ivanets [1] tppp@kemsu.ru

[1] Kemerovo State University, Red street, 6 Kemerovo, 650043, Russia
[2] Kemerovo state agricultural institute, Markovtseva street, 5, Kemerovo, 650056, Russia

Abstract.Now the increasing popularity is received by food semi-finished products from the bulk materials. With increase in volume of their production it is expedient to mix powdery materials in the mixers of continuous action. For the set working hours of the mixers of continuous action the movement of material in the device is considered to be casual stationary processes between which there is relationship of cause and effect. Key indicators for her assessment is the correlation coefficient, population mean and dispersion. Communication between entering and going out of the device signals is established by means of the equations of material balance, describing expenses of streams of bulk stochastic stationary functions *X (t)*. Further, finding probabilistic characteristics of the entering and leaving signals, it is possible to judge "quality" of operation of the mixer or to select the required topology of streams in the hardware environment by comparison of the relations of their dispersions or mean square deviations. In this work the scheme of the movement of material streams in the mixer developed by us realizing a method of "consecutive dilution" is considered. By means of the system of the equations of the material balance displaying process of the movement of material in the mixers of continuous action of vibration type influence of recirculation on the smoothing properties of the device is considered. Values of size of the smoothing ability of *S* from recirculation coefficient α and quantities of rounds of *n* are given. It is revealed that increase in the smoothing ability leads to increase of quantity of rounds, and respectively and dimensions of the mixers of continuous action of vibration type, therefore, it is expedient to use the mixer with quantity of rounds equal 6 and coefficient of recirculation equal 0.7 as at the same time the smoothing ability equal is enough 1753 for receiving qualitative ready mix at a ratio of components 1:50. By means of the correlation analysis it is possible to predict uniformity of a material stream at the device exit at the known values of the time spent in him of material, coefficients of recirculation and dispersion of an entrance signal.

Keywords:mixer, bulk materials, consecutive dilution, correlation analysis, mathematical model

Для цитирования

Бородулин Д.М., Шушпанников А.Б., Зорина Т.В., Шушпанников Е.А., Иванец В.Н. Определение сглаживающей способности вибрационного смесителя на основе корреляционного анализа //Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 30–34. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-30-34

For citation

Borodulin D.M., Shushpannikov A.B., Zorina T.V., Shushpannikov E.A., Ivanets V.N. Determination of the smoothing ability of the vibration mixer on the basis of the correlation analysis. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 30–34. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-30-34

Введение

Одним из важных факторов, определяющих здоровье человека, является питание со сбалансированным рационом. В настоящее время всё большую популярность получают пищевые полуфабрикаты из сыпучих материалов (СМ), которые часто представляют собой фасованные многокомпонентные смеси из порошкообразных или мелкозернистых компонентов [1]. С увеличением спроса на данные смеси повышается объем их производства. Известно, что порошкообразные материалы целесообразно смешивать в смесителях непрерывного действия (СНД) вибрационного типа [2-5]. Это позволяет упростить автоматизацию процесса, уменьшить загрязнения пылевыми выбросами окружающей среды и производственных помещений, улучшить условия труда и культуру производства, при этом увеличить производительность труда и одновременно снизить энергопотребление, металлоёмкость и себестоимость готовой смеси.

В тех случаях когда необходимо получать высококачественные сыпучие композиции при соотношении компонентов до 1:50, целесообразно использовать винтовые вертикальные вибрационные СНД [2–6]. Они обладают хорошей способностью сглаживать флуктуации расходов входящих материальных потоков. При математическом описании процесса смешивания благодаря найденным вероятностным характеристикам входящего и выходящего сигналов можно судить о «качестве» работы смесителя, что представляет большой практический интерес для пищевой и других отраслей народного хозяйства [7–9].

Цель работы – определить сглаживающую способность вибрационного смесителя на основе корреляционного анализа.

Задача – математически описать процесс смешивания в вибрационном смесителе с применением корреляционного анализа.

Материалы и методы

Для установившихся режимов работы СНД движение материала внутри аппарата принято считать случайными стационарными процессами, между которыми существует причинно-следственная связь. Основными показателями для ее оценки являются коэффициент корреляции, математическое ожидание и дисперсия. Связь между входящим и выходящим из аппарата сигналами устанавливают с помощью уравнений материального баланса [10-11], описывая расходы потоков сыпучего материала случайными стационарными функциями *X(t)*. Далее, находя вероятностные характеристики входящего и выходящего сигналов, можно судить о «качестве» работы смесителя или подбирать требуемую топологию потоков внутри аппаратной среды путем сравнения отношений их дисперсий или среднеквадратичных отклонений:

$$S = \frac{\sigma_{xo}^2}{\sigma_{xв}^2} \text{ или } s = \frac{\sigma_{xo}}{\sigma_{xв}}, \qquad (1)$$

где s – сглаживающая способность смесителя; σ_{xo}^2 и $\sigma_{xв}^2$ – дисперсии входного и выходного сигналов; σ_{xo} и $\sigma_{xв}$ – среднеквадратичные отклонения сигналов.

Математическая модель, созданная на основе корреляционного анализа, позволяет определить зависимость между дисперсиями входного и выходного сигналов. С ее помощью возможно прогнозировать однородность материального потока на выходе аппарата при известных значениях времени нахождения в нем материала, коэффициентах рециркуляции и дисперсии входного сигнала [12].

Рассмотрим схему движения материальных потоков в разработанном смесителе, реализующем метод «последовательного разбавления» [13], где за ячейку примем один виток спирального рабочего органа. Схема движения материальных потоков представлена на рисунке 1.

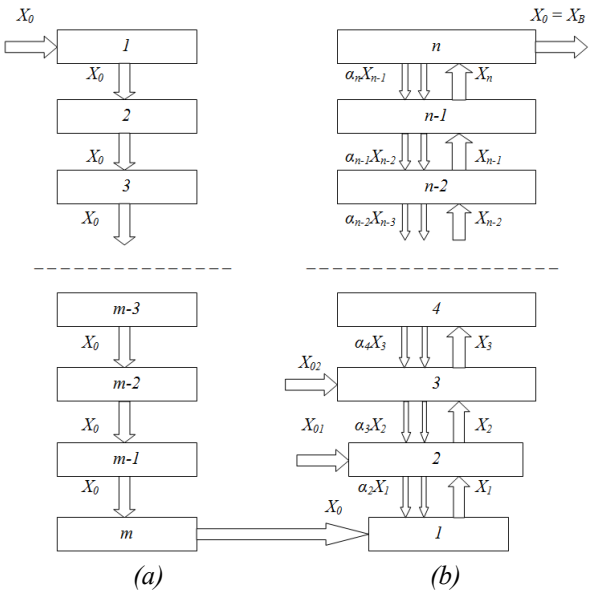


Рисунок 1. Схема движения материальных потоков в винтовом СНД с использованием метода «последовательного разбавления»: а – дополнительный рабочий орган; б – основной рабочий орган

Figure 1. Traffic pattern of material flow in a continuous screw mixer using the method of "sequential dilution": a – additional working body; б – the main working body

Вибрационный СНД [13] работает следующим образом: ингредиенты (X_0) поступают через загрузочный бункер на дополнительный рабочий орган. После чего они поступают на основной рабочий орган через сквозное отверстие в стенке бункера. Помимо смешивающего

эффекта, СМ поднимается по лотку вверх, так как угол подъёма колебаний больше угла подъёма винтовой линии лотка. Часть материала просевается через перфорацию, образуя межвитковую рециркуляцию. Вторую долю ингредиента (X_{01}) подают через патрубок на винтовой перфорированный лоток, который в этом месте расширяется пропорционально количеству поступающего материала. Оставшуюся долю (X_{02}) подают на несколько лотков выше. Таким образом осуществляется "последовательное разбавление" смеси на основном рабочем органе. Расширение лотка необходимо для того, чтобы избежать резкого увеличения высоты кипящего слоя, что может привести к уменьшению скорости транспортирования сыпучего материала и интенсивности его виброкипения [6]. В итоге готовый продукт выводится из аппарата через патрубок.

Материальный баланс для материала, движущегося по дополнительному рабочему органу (рисунок 1, а), был ранее рассмотрен в ряде работ исследователей [6], в результате которых был сделан вывод, что в прямоточном смесителе сглаживающая способность, вне зависимости от количества витков *m*, стремится к 1, т. е. *S*→1.

Далее рассмотрим новую схему движения материала (рисунок 1,б), предусматривающую метод «последовательного разбавления» по основному рабочему органу, состоящему из 6 витков.

Примем, что подача части материала осуществляется на 2-й (X_{01}) и 3-й (X_{02}) витки. Кроме того, должно осуществляться требование $X_0 = X_{01} + X_{02}$, примем в равных количествах $X_{01} = \frac{1}{2} X_0$, $X_{02} = \frac{1}{2} X_0$.

При помощи системы уравнений материального баланса, отображающего процесс движения материала в СНД, рассмотрим влияние рециркуляции на сглаживающие свойства вибрационного аппарата [14–15]:

$$\begin{cases} X_1 = \frac{1}{2} X_0 + \alpha_2 X_1 \\ X_2 = X_1 + \alpha_3 X_2 + \alpha_1 \frac{1}{2} X_0 - \alpha_2 X_1 \\ X_3 = X_2 + \frac{1}{2} X_0 + \alpha_4 X_3 - \alpha_3 X_2 - \alpha_1 \frac{1}{2} X_0 , \\ X_4 = X_3 + \alpha_5 X_4 - \alpha_4 X_3 \\ X_5 = X_4 + \alpha_6 X_5 - \alpha_5 X_4 \\ X_6 = X_5 - \alpha_6 X_5 \\ X_B = X_5 - \alpha_6 X_5 \end{cases}$$

где $X_0(t) = X_0$ – массовый расход материала, питающего смеситель; $X_B(t) = X_B$ – массовый расход материала на выходе из смесителя; $X_i(t) = X_i$ – массовый расход материала, сходящего с *i*-го витка основного рабочего органа; $j = 1,2,...,m$, $i = 1,2,...,n$ – порядковый номер витка дополнительного и основного рабочего органа; m, n – количество витков дополнительного и основного рабочего органа; α – коэффициент «внутренней» рециркуляции, характеризующий часть массового расхода материала поступающего с *i*-го витка основного рабочего органа на нижележащий, $0 \le \alpha_{ki} \le 1$; t – текущее время.

Система, определяющая корреляционные функции витков основного рабочего органа, примет вид:

$$\begin{cases} Kx_1 = \frac{1}{2} Kx_0 + \alpha_2^2 Kx_1 \\ Kx_2 = Kx_1 + \alpha_3^2 Kx_2 + \alpha_1^2 \frac{1}{2} Kx_0 - \alpha_2^2 Kx_1 \\ Kx_3 = Kx_2 + \frac{1}{2} Kx_0 + \alpha_4^2 Kx_3 - \alpha_3^2 Kx_2 - \alpha_1^2 \frac{1}{2} Kx_0 , \\ Kx_4 = Kx_3 + \alpha_5^2 Kx_4 - \alpha_4^2 Kx_3 \\ Kx_5 = Kx_4 + \alpha_6^2 Kx_5 - \alpha_5^2 Kx_4 \\ Kx_6 = Kx_5 - \alpha_6^2 Kx_5 \\ Kx_B = Kx_5 - \alpha_6^2 Kx_5 \end{cases} \quad (2)$$

где $Kx_i(\tau) = Kx_i$ – корреляционные функции материальных потоков; τ – интервал корреляции; $\sigma_{xo}^2 = Kx_0(0)$, $\sigma_{xв}^2 = Kx_B(0)$ – дисперсии входящего и выходящего потоков.

Решая систему уравнений (2) методом подстановки и выражая Kx_0, получим:

$$Kx_B = Kx_0 \left[\begin{array}{l} (1-\alpha_6)(1-\alpha_5)(1-\alpha_4)(1-\alpha_3)(1-\alpha_2) + \\ \alpha_1^2 (1-\alpha_6)(1-\alpha_5)(1-\alpha_4)(1-\alpha_3)(1+\alpha_2) \\ +(1-\alpha_6)(1-\alpha_5)(1-\alpha_4)(1-\alpha_1)^2 (1+\alpha_3) \\ \frac{(1+\alpha_2)}{2(1+\alpha_6)(1+\alpha_5)(1+\alpha_4)(1+\alpha_3)(1+\alpha_2)} \end{array} \right] . \quad (3)$$

Преобразуя выражение (3), получим:

$$\sigma_{xв}^2 = \sigma_{xo}^2 \left[\begin{array}{l} (1-\alpha_6)(1-\alpha_5)(1-\alpha_4)(1-\alpha_3)(1-\alpha_2) + \\ \alpha_1^2 (1-\alpha_6)(1-\alpha_5)(1-\alpha_4)(1-\alpha_3)(1+\alpha_2) \\ +(1-\alpha_6)(1-\alpha_5)(1-\alpha_4)(1-\alpha_1)^2 (1+\alpha_3) \\ \frac{(1+\alpha_2)}{2(1+\alpha_6)(1+\alpha_5)(1+\alpha_4)(1+\alpha_3)(1+\alpha_2)} \end{array} \right] .$$

Значение степени сглаживания основного рабочего органа согласно формуле (1) описывается уравнением:

$$S = \left[\begin{array}{l} \frac{2(1+\alpha_6)(1+\alpha_5)(1+\alpha_4)(1+\alpha_3)(1+\alpha_2)}{(1-\alpha_6)(1-\alpha_5)(1-\alpha_4)(1-\alpha_3)(1-\alpha_2) + \\ \alpha_1^2 (1-\alpha_6)(1-\alpha_5)(1-\alpha_4)(1-\alpha_3)(1+\alpha_2) + \\ (1-\alpha_6)(1-\alpha_5)(1-\alpha_4)(1-\alpha_1)^2 (1+\alpha_3)(1+\alpha_2) \end{array} \right] .$$

Примем коэффициенты рециркуляции равными между собой, т. е. $\alpha_1 = ... = \alpha_n = \alpha$. В результате значение сглаживающей способности S основного рабочего органа для $n = 6$ запишется следующим образом:

$$s = \sqrt{\left[\frac{2(1+\alpha)^5}{(1-\alpha)^5 + \alpha^2(1-\alpha)^4(1+\alpha) + (1-\alpha)^5(1+\alpha)^2}\right]}.$$

По аналогии проводится расчет для любого количества витков. Зависимость величины сглаживания S от коэффициента рециркуляции α и количества витков n представлена в таблице 1.

Таблица 1.

Значения параметра $S(\alpha, n)$

Table 1.

Value of parameter $S(\alpha, n)$

$\alpha \backslash n$	**5**	**6**	**7**	**8**
0,20	4,05	6,08	9,11	13,67
0,30	8,33	15,46	28,72	53,34
0,40	17,79	41,50	96,83	225,94
0,50	40,50	121,50	364,5	1093
0,60	102,40	409,60	1638	6554
0,70	309,34	**1753**	9933	56290
0,80	1312	11811	106300	956600

Из полученных данных видно, что минимальное значение сглаживающей способности вибрационного СНД, равное 4,05 единиц, достигается при $n = 5$ и $\alpha = 0{,}2$, а максимальное $S_{max} = 956600$ – при 8 витках и коэффициенте рециркуляции равном 0,8. Проанализировав данные таблицы 1, можно сделать вывод, что наиболее существенные величины значения параметра S лежат в нижней правой зоне. Добиться наилучшего параметра можно, варьируя коэффициентом рециркуляции α и количеством витков n. В связи с тем, что увеличение сглаживающей способности ведет к увеличению количества витков, а соответственно и к увеличению габаритов СНД, целесообразно привести следующие рациональные параметры работы аппарата. При количестве витков 5 или 6 и коэффициенте рециркуляции, равном 0,7, сглаживающая способность варьируется в пределах 309÷1753 единиц. Этого вполне достаточно для применения вибрационного СНД на различных предприятиях с целью получения качественных смесей при соотношении смешиваемых компонентов 1:50.

Заключение

С помощью представленного корреляционного анализа схем движения сыпучих компонентов возможно прогнозировать однородность материального потока на выходе из вибрационного СНД при известных значениях времени нахождения материала в аппарате, коэффициентах рециркуляции и дисперсии входного сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1 Dubey A. Powder flow and blending // Predictive Modeling of Pharmaceutical Unit Operations. 2017. P. 39–69.

2 Николаев В.Н., Фетисов Е.О., Зязев Е.В. Анализ вибрационных смесителей сыпучих кормов // Инновации, технологии, наука: сб. статей международной научно-практической конференции. Самара, 2015. С. 302.

3 Коробчук М.В., Веригин А.Н., Джангирян В.Г., Фадеев Д.В. и др. Современное смесительное оборудование для приготовления многокомпонентных энергонасыщенных композиций // Вестник Казанского технологического университета. 2013. С. 240–243.

4 Ляшенко В.С. Обзор и анализ смесителей сыпучих кормов // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2015. С. 56–60.

5 Пушко В.А., Бойко И.Г. Перспективы применения смесительного оборудования вибрационного типа в условиях инновационного комбикормового производства // Вестник ВНИИМЖ. 2017. № 1 (25). С. 78–82.

6 Ivanets V.N., Borodulin D.M., Shyshpannikov A.B., Sukhorukov D.V. Intensification of bulk material mixing in new designs of drum, vibratory and centrifugal mixers // Foods and Raw Materials. 2015. V. 3. № 1. P. 62–69.

7 Rogers A., Lerapetritou M.G. Discrete element reduced-order modeling of dynamic particulate systems // American Institute of Chemical Engineers Journal. 2014. № 60. P. 3184–3194.

8 Sen M., Dubey A., Singh R., Ramachandran R. Mathematical Development and Comparison of a Hybrid PBM-DEM Description of a Continuous Powder Mixing Process // Journal of Powder Technology. 2013. P. 1–11.

9 Селиванов Ю.Т., Поляков Б.Е. Оптимизация процесса смешивания сыпучих материалов в смесителях непрерывного действия // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-27: сборник трудов XXVII Международной научной конференции. Тамбов, 2014. Т. 1. С. 66–69.

10 Ильиных Г.В., Устьянцев Е.А., Вайсман Я.И. Построение материального баланса линии ручной сортировки твердых бытовых отходов // Экология и промышленность России. 2013. №1. С. 22–25.

11 Киселев Д.И., Козымаев А.С Влияние организации направленного движения материальных потоков в центробежно-шнековом смесителе // Пищевые инновации и биотехнологии: материалы международной научной конференции. Кемерово, 2015. С. 159–161.

12 Бакин М.В., Капранова А.Б., Верлока И.И. Современные методы математического описания процесса смешивания сыпучих материалов // Фундаментальные исследования. 2014. № 5. С. 923–927.

13 Пат. № 2626415, RU, B01F 11/00. Вибрационный смеситель / Шушпанников А.Б., Зорина Т.В., Шушпанников Е.А., Шушпанникова А.С. Заявл. 2016149970; Опубл. 27.07.2017, Бюл. № 21.

14 Fedorovich V.A., Mitsyk A.V. Mathematical Simulation of Kinematics of Vibrating Boiling Granular Medium at Treatment in the Oscillating Reservoir // Key Engineering Materials. 2014. V. 581. P. 456–461.

15 Бородулин Д.М., Ратников С.А., Козымаев А.С., Андрюшкова Е.А. и др. Моделирование движения материальных потоков в центробежно-шнековом смесителе // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 1. С. 102–108.

REFERENCES

1 Dubey A. Powder flow and blending. Predictive Modeling of Pharmaceutical Unit Operations. 2017. pp. 39–69.

2 Nikolaev V.N., Fetisov E.O., Zyazev E.V. Analysis of vibration mixers of loose forages. Innovacii, tekhnologii, nauka [Innovation, technology, science: a collection of articles of the international scientific-practical conference]. 2015. pp. 302. (in Russian)

3 Korobchuk M.V., Verigin A.N., Dzhangiryan V.G., Fadeyev D.V., Abdullin I.A. Modern mixing equipment for preparation of multicomponent power saturated compositions. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kazan technological university]. 2013. pp. 240–243. (in Russian)

4 Lyashenko V.S. Review and analysis of mixers for bulk feed. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Omsk State Agrarian University]. 2015. pp. 56–60. (in Russian)

5 Pushko V.A., Boyko I.G. The prospects of use of the mixing equipment of vibration type in the conditions of innovative formula-feed production. *Vestnik VNIIMZh* [Messenger of VNIIMZh]. 2017. no. 1 (25). pp. 78–82. (in Russian)

6 Ivanets V.N., Borodulin D.M., Shyshpannikov A.B., Sukhorukov D.V. Intensification of bulk material mixing in new designs of drum, vibratory and centrifugal mixers. Foods and Raw Materials. 2015. vol. 3. no. 1. pp. 62–69.

7 Rogers A., Lerapetritou M.G. Discrete element reduced-order modeling of dynamic particulate systems. American Institute of Chemical Engineers Journal. 2014. no. 60. pp. 3184–3194.

8 Sen M., Dubey A., Singh R., Ramachandran R. Mathematical Development and Comparison of a Hybrid PBM-DEM Description of a Continuous Powder Mixing Process. Journal of Powder Technology. 2013. pp. 1-11.

9 Selivanov Yu.T., Polyakov B.E. Optimization of the process of mixing bulk materials in continuous mixers. Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh - MMTT-27 [Mathematical methods in equipment and technologies - MMTT-27: Proceedings of the XXVII International Conference]. Tambov, 2014. vol. 1. pp. 66-69. (in Russian)

10 Ilinykh G. V., Ustyantsev E.A., Weismann Ya.I. Creation of material balance of the line of manual sorting of municipal solid waste. *Ehkologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia]. 2013. no. 1. pp. 22-25. (in Russian)

11 Kiselyov D.I., Kozymayev A. S Influence of the organization of the directed movement of material streams in a centrifugal shnekovom the mixer. Pishchevye innovacii i biotekhnologii[Food Innovation and Biotechnology: Proceedings of the International Scientific Conference]. Kemerovo, 2015. pp. 159-161.

12 Bakin M.V., Kapranova A.B., Verloka I.I. Modern methods of the mathematical description of process of mixing of bulks. *Fundamental'nye issledovaniya* [Basic researches]. 2014. no. 5. pp. 923-927. (in Russian)

13 Shyshpannikov A.B., Zorina T.V., Shyshpannikov E.A., Shyshpannikova A.S. Vibracionnyj smesitel' [Vibration mixer]. Patent RF, no. 2626415, 2017.

14 Fedorovich V.A., Mitsyk A.V. Mathematical Simulation of Kinematics of Vibrating Boiling Granular Medium at Treatment in the Oscillating Reservoir. Key Engineering Materials. 2014. vol. 581. pp. 456-461.

15 Borodulin D.M., Ratnikov S.A., Kozymayev A. S., Andryushkova E.A. et al. Modeling of the movement of material streams in a centrifugal shnekovom the mixer. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Krasnoyarsk state agricultural university]. 2015. no. 1. pp. 102-108. (in Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Дмитрий М. Бородулин д.т.н., профессор, директор Института инженерных технологий, Кемеровский государственный университет, б-р. Строителей 47, 650056, Россия, borodulin_dmitri@list.ru

Андрей Б. Шушпанников д.т.н., профессор, Кемеровский государственный сельскохозяйственный институт, ул. Марковцева, 5, Кемерово, 650043, Россия, 3089961@mail.ru

Татьяна В. Зорина аспирант, кафедра «Технологическое проектирование пищевых производств», Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, Кемерово, 650043, Россия, tanya.kaznacheeva.92@mail.ru

Евгений А. Шушпанников аспирант, кафедра «Технологическое проектирование пищевых производств», Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, Кемерово, 650043, Россия, Anovladi@mail.ru

Виталий Н. Иванец д.т.н., профессор, кафедра «Технологическое проектирование пищевых производств», Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, Кемерово, 650043, Россия, tppp@kemsu.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Dmitry M. Borodulin Dr. Sci. (Engin.), professor, director of the institute of engineering technologies, Kemerovo State University, Boulevard of Builders 47, 650056, Russia, borodulin_dmitri@list.ru

Andrey B. Shushpannikov Dr. Sci. (Engin.), professor, Kemerovo state agricultural institute, Markovtseva street, 5, Kemerovo, 650043, Russia, 3089961@mail.ru

Tatyana V. Zorina graduate student, technological design of food production department, Kemerovo State University, Red street, 6 Kemerovo, 650043, Russia, tanya.kaznacheeva.92@mail.ru

Evgeniy A. Shushpannikovgraduate student, technological design of food production department, Kemerovo State University, Red street, 6 Kemerovo, 650043, Russia, Anovladi@mail.ru

Vitaliy N. Ivanets Dr. Sci. (Engin.), professor, technological design of food productions department, Kemerovo state university, Red street, 6, Kemerovo, 650043, Russia, tppp@kemsu.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Дмитрий М. Бородулин корректировал рукопись до подачи в редакцию

Андрей Б. Шушпанников консультация в ходе исследования

Татьяна В. Зорина выполнила расчёты, написала рукопись и несёт ответственность за плагиат

Евгений А. Шушпанников обзор литературных источников по исследуемой проблеме

Виталий Н. Иванец консультация в ходе исследования

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 15.10.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 28.11.2018

CONTRIBUTION

Dmitry M. Borodulin correct the manuscript before filing in editing and is responsible

Andrey B. Shushpannikov consultation during the study

Tatyana V. Zorina performed computations, wrote the manuscript and is responsible for plagiarism

Evgeniy A. Shushpannikov review of the literature on an investigated problem

Vitaliy N. Ivanets consultation during the study

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.15.2018

ACCEPTED 11.28.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 542.47:66.047

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-35-40

Исследование влияния параметров процесса сушки яблочных выжимок на выход пектиновых веществ

Алексей В. Дранников [1] drannikov@list.ru
Сергей А. Титов [1] 125titov@mail.ru
Дарья В. Беломыльцева [1] dbelomylceva@bk.ru
Надежда Н. Корышева [1] korysheva.nadya@mail.ru
Дарья К. Костина [1] kostina.dasha.2111@mail.ru
Артем М. Давыдов [2] amdavydov@mail.ru

[1] Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
[2] Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, Москва, 117997, Россия

Аннотация. Одним из наиболее распространенных способов консервирования яблочных выжимок с целью дальнейшего получения продуктов с высоким содержанием биологически активных веществ, является сушка. Для эксперимента был выбран способ сушки перегретым паром пониженного давления в импульсном виброкипящем слое, так как он позволяет повысить качество готового продукта за счет снижения температуры сушильного агента, тем самым сохранив значительное количество биологически активных веществ в исходном продукте. Для изучения кинетических и гидродинамических зависимостей процесса сушки разработана и создана экспериментальная установка, позволяющая получать максимально точные и воспроизводимые результаты. По результатам проделанных экспериментов построены кривые сушки, кривые скорости сушки и кривые нагрева. Определены технологические режимы работы сушильной установки и максимальное влагонапряжение сушильной камеры. Помимо эксперимента по сушке яблочных выжимок, проводилось и исследование по содержанию пектиновых веществ в высушенных выжимках. Для определения количества пектина и протопектина был использован кальций-пектатный метод. В ходе эксперимента было выявлено, что при предложенном способе сушки выход пектиновых веществ повышен по сравнению с традиционными способами. Были построены гистограммы содержания пектина и протопектина в зависимости от способа сушки. Проведен сравнительный анализ содержания пектина и протопектина в зависимости от режима сушки для яблочных выжимок и жома сахарной свеклы. Сделан вывод о повышенной термолабильности протопектина в яблочных выжимках по сравнению с жомом сахарной свеклы.

Ключевые слова: сушка, яблочные выжимки, свекловичный жом, кинетика, гидродинамика, влагонапряжение, пектин, протопектин, термолабильность

Research of influence of parameters of process of drying of an apple residue on an exit of pectinaceous substances

Aleksei V. Drannikov [1] drannikov@list.ru
Sergei A. Titov [1] 125titov@mail.ru
Dariya V. Belomyltseva [1] dbelomylceva@bk.ru
Nadezhda N. Korysheva [1] korysheva.nadya@mail.ru
Dariya K. Kostina [1] kostina.dasha.2111@mail.ru
Artem M. Davydov [2] amdavydov@mail.ru

[1] Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
[2] Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, 117997, Russia

Abstract. One of the most common methods of preserving apple pomace in order to further obtain products with a high content of biologically active substances is drying. For the experiment, a method of drying with superheated steam of reduced pressure in a pulsed vibro boiling layer was chosen, since it allows improving the quality of the finished product by lowering the temperature of the drying agent, thereby retaining a significant amount of nutrients in the original product. To study the kinetic and hydrodynamic dependences of the drying process, an experimental setup has been developed and created, which allows to obtain the most accurate and reproducible results. According to the results of the experiments done, the drying curves, the drying rate curves and the heating curves were constructed. The technological modes of operation of the drying unit are determined, ensuring a minimum of the specific energy consumption of the drying process and the maximum moisture stress of the drying chamber. In addition to the experiment on drying apple pomace, a study was also conducted on the content of pectic substances in dried pomace. To determine the amount of pectin and protopectin, the calcium-pectate method was used. During the experiment, it was found that with the proposed method of drying, the yield of pectin substances is increased compared with traditional methods. Histograms of the content of pectin and protopectin were constructed depending on the method of drying. A comparative analysis of the content of pectin and protopectin was carried out depending on the drying mode for apple pomace and sugar beet pulp. The conclusion is made about the increased thermolability of protopectin in apple pomace compared to sugar beet pulp.

Keywords: drying, apple residue, beet press, kinetics, hydrodynamics, moisture tension, pectin, protopectin, thermolability

Введение

На сегодняшний день особое значение в кормопроизводстве придается замене синтетических компонентов (красители, консерванты, загустители и другие) на добавки, изготовленные из натурального сырья, такого, как пектин [1]. Специалистами пектин называется природным «санитаром» организма, поскольку данное вещество обладает способностью выводить из тканей яды и вредные вещества: пестициды, ионы тяжелых металлов, радиоактивные элементы, не нарушая при этом естественного бактериологического баланса [2].

Для цитирования
Дранников А.В., Титов С.А., Беломыльцева Д.В., Корышева Н.Н., Костина Д.К., Давыдов А.М. Исследование влияния параметров процесса сушки яблочных выжимок на выход пектиновых веществ // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 35–40. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-35-40

For citation
Drannikov A.V., Titov S.A., Belomyltseva D.V., Korysheva N.N., Kostina D.K., Davydov A.M. Research of influence of parameters of process of drying of an apple residue on an exit of pectinaceous substances. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 35–40. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-35-40

Пектин – это склеивающее вещество, полисахарид, образованный из остатков галактуроновой кислоты и присутствующий в большинстве высших растений – фруктах, овощах, корнеплодах и некоторых видах водорослей [3]. Являясь структурным элементом тканей, пектины способствуют поддержанию тургора, повышают устойчивость растений к засухе и длительному хранению.

Главная функциональная особенность пектина как студнеобразователя – способность формировать гели в водных растворах в присутствии сахара и кислоты или ионов кальция. Одной из важнейших характеристик пектина является гелеобразующая способность [4].

Качество пектина зависит не только от свойств сырья, из которого его получают, но и от способа подготовки к производству данного сырья. Яблочные выжимки содержат достаточное количество минеральных веществ и витаминов, однако даже после непродолжительного хранения сырых выжимок на открытом воздухе происходит их быстрое закисление и порча. Следовательно, необходимо их консервирование. Одним из наиболее распространенных способов является сушка.

При этом необходимо отметить, что при пониженном давлении сушка материала происходит при более низкой температуре, благодаря чему происходит минимизация разрушения пектина.

В литературе имеется множество данных о различных технологиях получения пектина [5, 6], его применении в пищевой промышленности [7, 8], влиянии агротехнических приемов выращивания на содержание пектина [3], но, к сожалению, крайне малочисленны данные о влиянии способов и режимов сушки пектиносодержащего сырья на качество и выход пектина.

Предлагается осуществлять сушку яблочных выжимок перегретым паром пониженного давления в импульсном виброкипящем слое. Данный способ сушки позволит снизить температуру сушильного агента, тем самым сохранив значительное количество полезных веществ в исходном продукте, а применение виброкипящего слоя с перегретым паром повысит величину коэффициентов тепло- и массообмена.

Материалы и методы

Для изучения кинетических и гидродинамических зависимостей процесса сушки яблочных выжимок в импульсном виброкипящем слое пониженного давления разработана экспериментальная установка (рисунок 1), позволяющая получать максимально точные и воспроизводимые результаты.

Параметры процесса сушки в каждом опыте поддерживаются постоянными в интервале значений: температура перегретого пара на входе в рабочую камеру $T_п$ = 393–453 К, давление в камере 40–100 КПа, скорость пара в рабочей камере $υ_п$ = 3–5 м/с. Амплитуда и частота колебаний газораспределительной решетки остаются неизменными и составляют соответственно a = 7 мм и f = 12,5 Гц, частота пульсаций колебаний решетки изменяется от $f_п$ = 0,0083 Гц (1 пульсация в 2 мин) до $f_п$ = 0,04 Гц (1 пульсация в 25 с), начальная удельная нагрузка выжимок на решетку q = 11–33 кг/м^2, начальная влажность выжимок $W_н^c$ = 196% по отношению к сухим веществам.

Угол наклона решетки α во всех опытах составляет 0°, а угол направления вибрации β равен 90° и тоже остается неизменным.

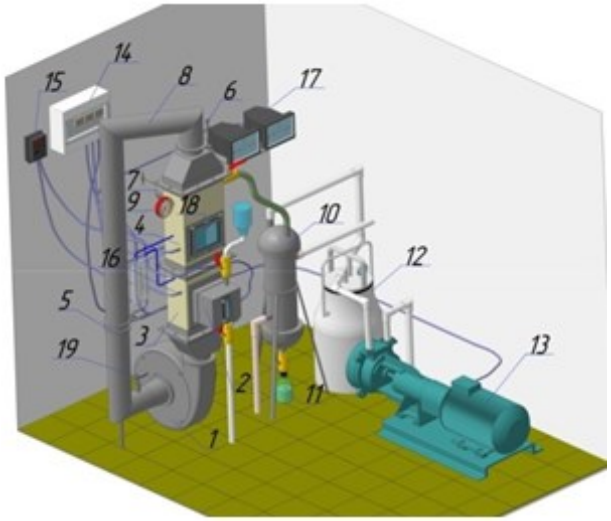


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки: 1 – вентилятор среднего давления; 2 – парогенератор; 3 – сушильная камера; 4 – газораспределительная решетка; 5 – камерная диафрагма; 6 – шток; 7 – устройство для загрузки материала; 8 – рециркуляционный трубопровод; 9 – вакуумметр; 10 – конденсатор; 11 – сборник конденсата; 12 – ресивер; 13 – водокольцевой вакуум-насос; 14 – щит управления; 15 – измеритель-регулятор температуры; 16 – хромель-копелевые термопары; 17 – манометры типа; 18 – окно разгрузки; 19 – заслонка

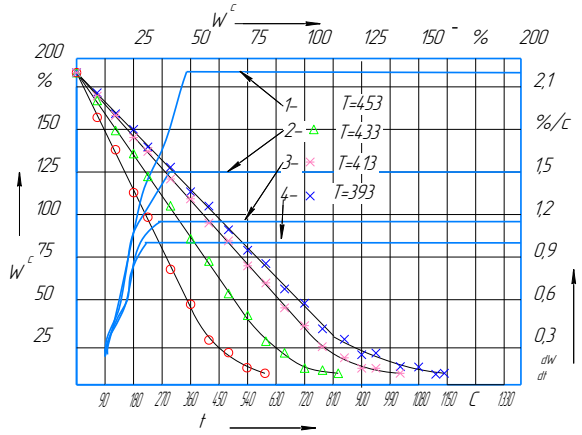
Figure 1. Scheme of the experimental setup: 1 – medium pressure fan; 2 – steam generator; 3 – drying chamber; 4 – gas distribution grid; 5 – chamber diaphragm; 6 – rod; 7 – material loading device; 8 – recirculation pipeline; 9 – vacuum meter; 10 – condenser; 11 – condensate collector; 12 – receiver; 13 – water-ring vacuum pump; 14 – control panel; 15 – temperature controller; 16-chromel – drip thermocouples; 17 – pressure gauges; 18 – window unloading; 19 – damper

Результаты и обсуждение

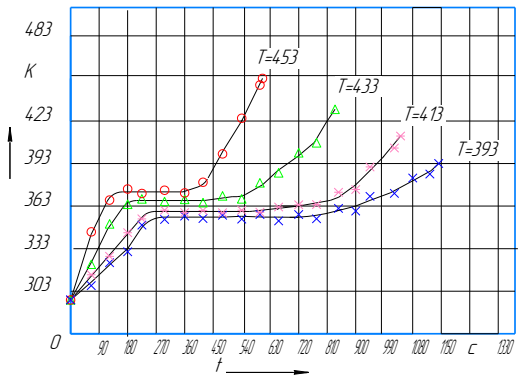
Кривые сушки, скорости сушки и кривые нагрева яблочных выжимок в импульсном виброкипящем слое при различных режимных параметрах процесса представлены на рисунке 2.

Характер изменения кривых соответствует периодам постоянной и убывающей скорости сушки. Причем конденсации перегретого пара на поверхности частиц не наблюдается. Это можно объяснить высокими коэффициентами тепло- и массообмена и высокой начальной влажностью выжимок, из-за которой уже в самый начальный момент процесса происходит испарение влаги с поверхности частиц.

Увеличение температуры перегретого пара от 120 до 180 ºС при разряжении 60 кПа способствует возрастанию скорости сушки в первом периоде на 50%. При этом температура продукта в этом периоде практически одинакова. Большее влияние на температуру продукта, как и ожидалось, оказывает разряжение в сушильной камере. Так, снижение давления от 100 до 40 кПа позволяет снизить температуру продукта в первом периоде с 95 до 70 ºС, а конечная температура продукта не превышает 73–78 ºС, что, несомненно, положительно сказывается на качестве готового продукта. При этом необходимо отметить, что время высушивания в данном опыте незначительно изменяется. Это объясняется изменением гидродинамической обстановки в камере при увеличении разряжения перегретого пара.



(*a*)



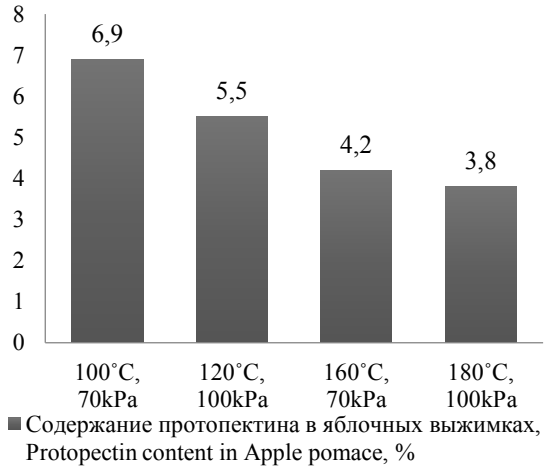
(*b*)

Рисунок 2. Кривые сушки $W^c = f(\tau)$ (1–4) и скорости сушки $dW^c/d\tau = f(W^c)$ (1–4) яблочных выжимок при различных температурах перегретого пара (*a*); кривые нагрева $T_м = f(\tau)$ яблочного жома при различных температурах перегретого пара (*b*), K

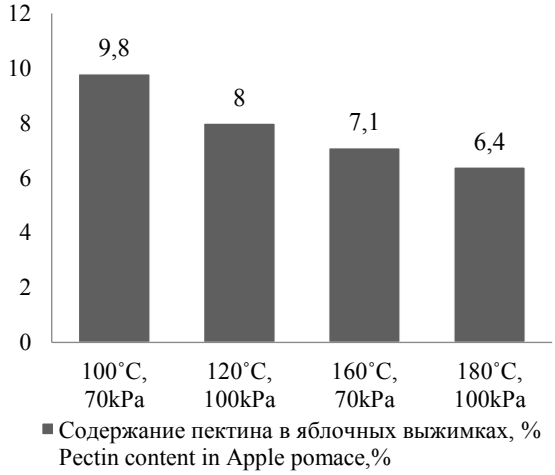
Figure 2. Drying curves WC = f (τ) (1-4) and drying rates DWC/ dt = f(WS) (1-4) Apple Marc at different temperatures of superheated steam (*a*); heating Curves TM = f (τ) Apple pulp at different temperatures of superheated steam (*b*), K

Содержание пектиновых веществ в яблочных выжимках определялось кальций-пектатным методом. Метод основан на осаждении пектовых кислот в виде кальциевых солей. Это один из наиболее точных методов. Он прост, доступен и имеет хорошую сходимость параллельных анализов.

Процентное содержание в яблочных выжимках пектина и протопектина представлено на гистограммах (рисунок 3).



(*a*)



(*b*)

Рисунок 3. Содержание протопектина и пектина в сухих яблочных выжимках, %

Figure 3. The content of protopectin and pectin in dry Apple pomace, %

Содержание в яблочных выжимках пектиновых веществ зависит от режимных параметров процесса сушки. В ходе проведенных экспериментов было получено процентное содержание пектина и протопектина. Наибольшее содержание пектина и протопектина в образце, высушенном при T = 100 °С и P = 70 кПа.

Полученные результаты объясняются следующим образом. Протопектин входит в состав клеточной стенки плодов растений, а растворимый пектин – в состав внутри- и межклеточной жидкости. В процессе получения сока при переработке яблочного сырья растворимый пектин частично переходит в этот сок, а протопектин практически целиком остается в выжимках. Это объясняет значительное содержание протопектина в высушенных выжимках. Однако в них имеется существенное содержание растворимого пектина.

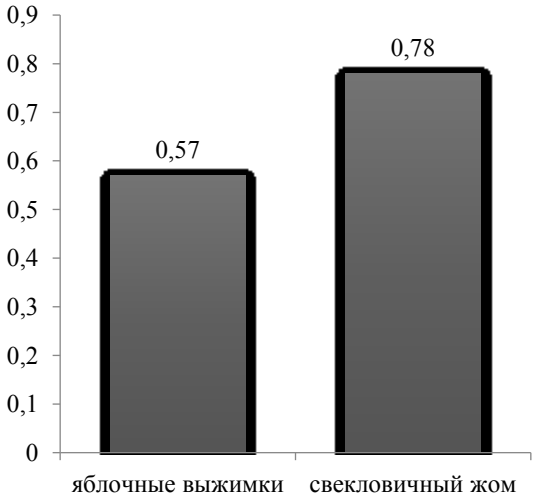
Сушка выжимок сопровождается двумя процессами – тепловым гидролизом протопектина при температуре более 80 °С, в результате которого образуются растворимые пектины и ряд других продуктов гидролиза, и разрушением растворимого пектина, происходящим при повышенных температурах.

При низких температурах сушки и пониженном давлении растворимые пектины разрушаются в минимальной степени [9], но в то же время еще происходит гидролиз протопектинов, в результате которого количество растворимых пектинов пополняется. Поэтому сушка выжимок при T = 100 °С и P = 70 кПа характеризуется максимальным содержанием растворимого пектина.

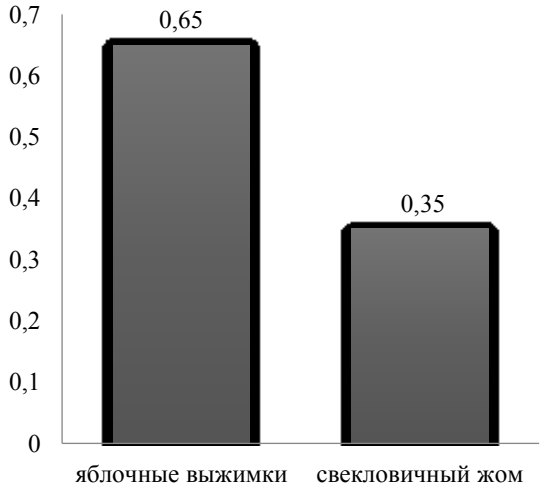
Увеличение температуры перегретого пара или давления приводит к росту температуры выжимок, соответственно значительно более интенсивно происходит разрушение пектина, а также заметно усиливается гидролиз протопектина. Поэтому содержание этих веществ в выжимках, высушенных при T = 120 °С и P = 100 кПа, а также при T = 160 °С и P = 70 кПа, снижается. Наиболее интенсивно эти процессы происходят при максимальной температуре и давлении (T = 180 °С и P = 100 кПа).

Аналогичные опыты с сушкой жома сахарной свеклы перегретым паром показали, что в нем значительно больше протопектина и меньше растворимого пектина по сравнению с высушенными яблочными выжимками.

В ходе исследования мы приходим к выводу, что термическая устойчивость протопектина яблочных выжимок ниже по сравнению с жомом сахарной свеклы. Это следует из соотношения содержания протопектина при максимальной температуре сушки к содержанию при минимальной температуре для яблочных выжимок и жома сахарной свеклы (рисунок 4, *a*), которое характеризует термоустойчивость. С другой стороны, термоустойчивость пектина в яблочных выжимках оказывается довольно высокой (рисунок 4, *b*).



(*a*)



(*b*)

Рисунок 4. Отношение содержания протопектина при максимальной Т° сушки $С_{пр\ max}$ и содержание при минимальной Т° сушки $С_{пр\ min}$ (*a*); Отношение содержания пектина при максимальной Т° сушки $С_{п\ max}$ и при минимальной Т° сушки $С_{п\ min}$ (*b*)

Figure 4. The ratio of the protopectin content at the maximum Then drying SPR max and the content at the minimum Then drying SPR min (*a*); the Ratio of the pectin content at the maximum then drying SP max and at the minimum then drying SP min (*b*)

Это говорит о том, что в яблочных выжимках в ходе сушки интенсивно протекают процессы теплового гидролиза протопектина, сопровождающиеся тепловым разрушением небольшой части растворимого пектина. Значительная степень гидролиза протопектина при повышенной термоустойчивости пектина приводит к тому, что содержание протопектина в высушенных яблочных выжимках оказывается в 2,0–2,5 раза ниже, чем в свекольном жоме, а содержание растворимого пектина в 3–4 раза выше.

Заключение

Указанные особенности сушки определяют преимущественные области применения сухих яблочных выжимок и жома сахарной свеклы. Сухие яблочные выжимки целесообразно использовать для получения растворимого пектина методом экстракции, а жом сахарной свеклы – для получения пищевых волокон.

Однако по органолептическим показателям пищевые волокна из яблочных выжимок могут иметь преимущество по сравнению с полученными из жома сахарной свеклы [10]. Поэтому при планируемом использовании яблочных выжимок для производства пищевых волокон их необходимо сушить в щадящем режиме из-за высокой термолабильности яблочного протопектина.

ЛИТЕРАТУРА

1 Pagliaro M., Fidalgo A.M.A., Ciriminna R., Delisi R. Pectin Production and Global Market // Agro Food Industry – Hi Tech. 2016. № 27(5). P. 120–127.

2 Pedrolli D.B., Monteiro A.C., Gomes E., Carmona E.C. Pectin and Pectinases: Production, Characterization and Industrial Application of Microbial Pectinolytic Enzymes // The Open Biotechnology Journal. 2009. V. 3. P. 9–18.

3 Аверьянова Е.В., Школьникова М.Н. Пектин: методы выделения и свойства. Бийск: АлтГТУ, 2015. 42 с.

4 Донченко Л.В., Темников А.В. Разработка способов повышения студнеобразующей способности низкоэтерифицированных пектинов // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2014. № 10. С. 25–29.

5 Sulieman A.M., Khodari K.M., Salih Z.A. Extraction of Pectin from Lemon and Orange Fruits Peels and Its Utilization in Jam Making // International Journal of Food Science and Nutrition Engineering. 2013. № 3(5). P. 81–84.

6 Chan S.Y., Choo W.S. Effect of extraction conditions on the yield and chemical properties of pectin from cocoa husks // Food Chemistry. 2013. № 141. P. 3752–3758.

7 Galus S., Turska A., Lenart A. Sorption and Wetting Properties of Pectin Edible Films // Czech J. Food Sci. 2012. V. 30. № 5. P. 446–455.

8 Кенийз Н.В. Пектин и его роль в технологии хлебобулочных полуфабрикатов // Молодой ученый. 2015. № 2. С. 160–163.

9 Кварацхелия В.Н., Родионова Л.Я. Изменение аналитических характеристик пектиновых веществ яблок зимнего срока созревания при длительном влиянием низких температур // Научный журнал КубГАУ. 2014. № 100(06). С. 1–14.

10 Донченко Л.В., Фирсов Г.Г. Пектин: основные свойства, производство и применение. Москва: ДеЛи принт, 2007. 276 с.

REFERENCES

1 Pagliaro M., Fidalgo A.M.A., Ciriminna R., Delisi R. Pectin Production and Global Market. Agro Food Industry – Hi Tech. 2016. no. 27(5). pp. 120–127.

2 Pedrolli D.B., Monteiro A.C., Gomes E., Carmona E.C. Pectin and Pectinases: Production, Characterization and Industrial Application of Microbial Pectinolytic Enzymes. The Open Biotechnology Journal. 2009. vol. 3. pp. 9–18.

3 Averyanova E.V., Shkolnikova M.N. Pektin: metody vydeleniya i svojstva [Pectin: methods of allocation and properties]. Biysk, AltSTU, 2015. 42 p. (in Russian)

4 Donchenko L.V., Temnikov A.V. Development of ways of increase in studneobrazuyushchy ability of low-esterified pectins. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy i puti ih resheniya* [Modern science: current problems and ways of their decision]. 2014. no. 10. pp. 25–29. (in Russian)

5 Sulieman A.M., Khodari K.M., Salih Z.A. Extraction of Pectin from Lemon and Orange Fruits Peels and Its Utilization in Jam Making. International Journal of Food Science and Nutrition Engineering. 2013. no. 3(5). pp. 81–84.

6 Chan S.Y., Choo W.S. Effect of extraction conditions on the yield and chemical properties of pectin from cocoa husks. Food Chemistry. 2013. no. 141. pp. 3752–3758.

7 Galus S., Turska A., Lenart A. Sorption and Wetting Properties of Pectin Edible Films. Czech J. Food Sci. 2012. vol. 30. no. 5. pp. 446–455.

8 Keniyz N.V. Pektin and its role in technology of bakery semi-finished products. *Molodoj uchenyj* [Young scientist]. 2015. no. 2. pp. 160–163. (in Russian)

9 Kvaratskheliya V.N., Rodionova L.Ya. Change of analytical characteristics of pectinaceous substances of apples of winter term of maturing at long influence of low temperatures. *Nauchnyj zhurnal KubGAU* [Scientific journal KubGAU]. 2014. no. 100(06). pp. 1–14. (in Russian)

10 Donchenko L.V., Firsov G.G. Pektin: osnovnye svojstva, proizvodstvo i primenenie [Pektin: the main properties, production and application] Moscow, DeLi print, 2007. 276 p. (in Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алексей В. Дранников д.т.н., профессор, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, drannikov@list.ru

Сергей А. Титов д.т.н., профессор, кафедра физики, теплотехники и теплоэнергетики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, 125titov@mail.ru

Дарья В. Беломыльцева магистр, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, dbelomylceva@bk.ru

Надежда Н. Корышева аспирант, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, korysheva.nadya@mail.ru

Дарья К. Костина студент, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kostina.dasha.2111@mail.ru

Артем М. Давыдов к.т.н., доцент, кафедра ресторанного бизнеса, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, Москва, 117997, Россия, amdavydov@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 02.10.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 14.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Aleksei V. Drannikov Dr. Sci. (Engin.), professor, machines and apparatuses for food production department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, drannikov@list.ru

Sergei A. Titov Dr. Sci. (Engin.), assistant professor, physics, heat engineering and power engineering department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, 125titov@mail.ru

Dariya V. Belomyltseva master student, machines and apparatuses for food production department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, dbelomylceva@bk.ru

Nadezhda N. Korysheva graduate student, machines and apparatuses for food production department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, korysheva.nadya@mail.ru

Dariya K. Kostina student, machines and apparatuses for food production department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kostina.dasha.2111@mail.ru

Artem M. Davydov Cand. Sci. (Engin.), associate profes-sor, department for Restaurant Business of the PRUE, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny Lane, 36, Moscow, 117997, Russia, amdavydov@mail.r**u**

CONTRIBUTION

All authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.2.2018

ACCEPTED 11.14.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 664.78.01

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-41-48

Исследование влияния параметров обработки зерна амаранта перед помолом на свойства полученной муки

Ирина М. Жаркова [1] zharir@mail.ru
Юлия А. Сафонова [1] kulakova7@yandex.ru
Александр А. Самохвалов [1] samokhvalov 36@yandex.ru

[1] Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Подготовка к производству зернового сырья включает его предварительную обработку повышенными температурами, что обеспечивает улучшение усвояемости питательных веществ зерна. Одной из разновидностей тепловой обработки зерна служит его микронизация, сущность которого заключается в быстром интенсивном нагреве зерна инфракрасными лучами (ИК). Значительное влияние ИК-нагрев оказывает на углеводный комплекс: происходит декстринизация крахмала, денатурирует белок, вследствие чего изменяется фракционный состав белкового комплекса: снижается доля водорастворимых и солерастворимых белков и повышается содержание щелочерастворимых белков, без изменения остаются липидный и витаминный составы зерна, а также снижается доля антипитательных веществ зерна. Задачей использования ИК-обработки для зерна амаранта является получение новых функциональных продуктов питания высокого качества с заданными свойствами. Термообработку амарантовой крупки ИК-методом осуществляли на установке УТЗ-4. При прохождении через камеру с амарантовой крупкой происходят физические изменения: увеличивается в объеме, структурный каркас крупки разрушается. При повышении температуры под воздействием ИК-излучения влага превращается в пар, давление резко увеличивается, что приводит к уменьшению прочности зернового сырья и способствует снижению энергозатрат при его дальнейшем размоле. Апробирован ряд комбинаций плотности потока ИК-излучения и продолжительности нахождения различной толщины амарантовой крупки в зоне термообработки. Были получены хорошие результаты при скорости транспортерной ленты установки 0,042 м/с и мощности ламп 69,2 кВт/м^2. Изучали влияние параметров микронизации амарантовой крупки на свойства полученной из нее муки. Установлено, что термообработка ИК-методом амарантовой крупки позволяет получить муку с улучшенными структурно-механическими свойствами.

Ключевые слова: амарантовая крупка, тепловая обработка, инфракрасные лучи, структурно-механические свойства муки, режимы обработки

The study of the effect of processing parameters of amaranth grains before grinding on the properties of the obtained flour

Irina M. Zharkova [1] zharir@mail.ru
Julia A. Safonova [1] kulakova7@yandex.ru
Alexsander A. Samokhvalov [1] samokhvalov 36@yandex.ru

[1] Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Preparation for the production of grain raw materials includes its pre-treatment at elevated temperatures, which provides improved absorption of grain nutrients. One of the varieties of grain heat treatment is its micronization, the essence of which lies in the rapid intensive heating of the grain by infrared rays (IR). IR heating has a significant effect on the carbohydrate complex: starch dextrinization occurs, denatures the protein, resulting in changes in the fractional composition of the protein complex: the proportion of water-soluble and salt-soluble proteins decreases and the content of alkaline-soluble proteins increases, the lipid and vitamin composition of the grain remain unchanged, and the proportion anti-nutritional substances of the grain. The task of using IR processing for amaranth grain is to obtain high-quality, functional food with desired properties. Heat treatment of amaranth grains using the infrared method was carried out on a UTZ-4 installation. When passing through the chamber with amaranth grain, physical changes occur: it increases in volume, the structural frame of the grain is destroyed. With increasing temperature under the influence of infrared radiation, moisture turns into steam, the pressure increases sharply, which leads to a decrease in the strength of grain raw materials and contributes to a reduction in energy consumption during its further grinding. A number of combinations of the infrared flux density and the duration of the presence of various thickness of amaranth grains in the heat treatment zone were tested. Good results were obtained when the speed of the conveyor belt of the installation was 0.042 m/s and the power of the lamps was 69.2 kW/m^2. The effect of micronization parameters of amaranth grains on the properties of flour obtained from it was studied. It was established that heat treatment by the infrared method of amaranth grains allows to obtain flour with improved structural and mechanical properties.

Keywords: amaranth grains, heat treatment, infrared rays, structural and mechanical properties of flour, processing modes

Введение

Решение проблемы обеспечения потребителей качественными и безопасными продуктами питания возможно за счет тщательного подхода к выбору сырья и способов его переработки.

К одному из направлений современных технологий переработки зернового сырья относится производство новых видов продуктов, не подвергающихся длительной тепловой обработке, а также разработка рецептур комбинированных пищевых изделий с заданными свойствами не только для расширения ассортимента,

Для цитирования

Жаркова И.М., Сафонова Ю.А., Самохвалов А.А. Исследование влияния параметров обработки зерна амаранта перед помолом на свойства полученной муки // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 41–48. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-41-48

For citation

Zharkova I.M., Safonova Ju.A., Samokhvalov A.A. The study of the effect of processing parameters of amaranth grains before grinding on the properties of the obtained flour. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 41–48. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-41-48

но и уменьшения себестоимости выпускаемой продукции. При подготовке к производству зернового сырья широко применяется его предварительная обработка повышенными температурами, что обеспечивает улучшение усвояемости питательных веществ зерна.

Одна из разновидностей тепловой обработки зерна – микронизация, сущность которой заключается в быстром интенсивном нагреве зерна инфракрасными лучами. Под воздействием инфракрасных лучей, распространяющихся со скоростью света, вызывается вибрация молекул обрабатываемого вещества с частотой 80–170 млн циклов в секунду, что обеспечивает быстрый нагрев внутренней части зерна. При этом содержащаяся в нем влага не успевает испариться и как бы закипает, превращаясь в пар. Наблюдается разрушение структурного каркаса зерна и изменение физико-химических свойств вырабатываемой из такого сырья муки. В частности, заметное влияние ИК-нагрев оказывает на углеводный комплекс: происходит декстринизация крахмала и в некоторой степени его клейстеризация, что влияет на повышение атакуемости крахмала глюкоамилазой в несколько раз; денатурирует белок, вследствие чего изменяется фракционный состав белкового комплекса: снижается доля водорастворимых и солерастворимых белков и повышается содержание щелочерастворимых белков, без изменения остаются липидный и витаминный составы зерна, причем отмечается сохранность тиамина, рибофлавина, никотиновой кислоты, а также снижается доля антипитательных веществ зерна [1].

В последнее время ИК-обработка находит широкое применение в пищевом производстве, в различных его отраслях, включая зерноперерабатывающую, хлебопекарную, кондитерскую, пищеконцентратную и т. д. Используют ИК-обработку в основном на тех технологических этапах, на которых предусмотрено тепловое воздействие на сырье и полуфабрикаты, т. е. в зерноперерабатывающей отрасли ИК-облучение подходит для стадий нагрева, сушки и дополнительной термообработки зернового материала, в пищеконцентратной отрасли – для обжарки и бланширования, в хлебопекарной отрасли – для выпечки. Прогнозируется положительная рентабельность включения ИК-обработки в технологический процесс. Изделия, полученные с применением ИК-облучения, характеризуются улучшенными качественными показателями по сравнению с изделиями, изготовленными по традиционным технологиям. Отмечается повышенная усвояемость пищевых продуктов с ИК-обработкой [2].

Глубина проникновения ИК-лучей обусловливается свойствами обрабатываемого материала. Если структура коллоидная, капиллярно-пористая, то ИК-лучи могут проникать до 7 мм внутрь. Такое воздействие влияет на биохимические изменения, происходящие в подвергающихся ИК-обработке пищевых продуктах [3].

Под воздействием ИК-лучей происходит быстрый нагрев зерна до 90–170 °С, что влечет резкое повышение давления пара в зерновке, и, как следствие, приводит к ее размягчению и вспучиванию. Получаемый эффект можно объяснить тем, что частоты ИК-лучей кратны или совпадают с частотами колебания атомов молекул обрабатываемого материала, вызывая при этом интенсивное колебание некоторых групп атомов. Следует отметить, что энергия отдельных химических связей соизмерима с энергией фотонов ИК-лучей: при $\lambda \geq 1{,}0$ мкм энергия фотона $E = h\nu \leq 2 \cdot 10^{-19}$ Дж, а энергия связи группы “-С-С-» – $2 \cdot 10^{-19}$ Дж, для “-О-Н-» – $(0{,}32 \div 0{,}46)\ 10^{-19}$ Дж. Основными биохимическими изменениями при ИК-обработке являются денатурация белка, разрушение крахмальных зерен, снижение активности антипитательных веществ, повышение микробиологической чистоты [4, 5].

Л.Я. Ауэрман, А.С. Гинзбург и другие авторы, изучая вопрос о влиянии ИК-обработки на качество готовых изделий отмечали, что ИК-облучение при выпечке хлеба позволило получить продукт с более тонкостенной пористостью, чем при обычной выпечке. При переработке зерна с примесью проросшего применение ИК-облучения оказывает благоприятное влияние на качество теста и готового хлеба, приготовленного из такого зерна. Использование ИК-излучения ускоряет биохимические процессы, протекающие при теплотехнологической обработке, что положительно сказывается на качестве готовых изделий [3].

Структура зерна пшеницы, подвергшегося термовлажностной обработке при ИК-облучении, разупрочняется. ИК-излучение влияет на кинетику этого процесса, и изменяются его физико-химические характеристики: константы скорости разупрочнения, энергии активации и термодинамические функции зерна. А.В. Азарскова в своих исследованиях установила, что при термообработке ИК-способом молекулы располагаются направленно в зависимости от электромагнитных свойств зерна в процессе разупрочнения его структуры. Это подтверждает, что химическая природа зерна определяет его текстуру [6].

Проводились исследования по изучению влияния ИК-обработки на пшеничную свежесмолотую муку, а также выработанную из зерна, поврежденного клопом-черепашкой. Было установлено, что 6–8-минутное воздействие ИК-лучей на перечисленные виды пшеничной муки значительно улучшает ее хлебопекарные

свойства: увеличивается сопротивление растяжению клейковины в 4,5–6 раз, расплываемость теста сокращается на 25–34%, увеличивается упругость мякиша на 2,5–9,6%.

Представлены исследования биохимического состава ячменя при его микронизации. Было установлено, что ИК-облучение влияет на белковый состав: общее содержание белка не изменяется, но наблюдается уменьшение на 39,4% доли водорастворимых белков, на 22,6% – солерастворимых и на 18,6% – проламинов, при этом перевариваемость ИК-обработанного белка не уменьшается. Микронизация влияет на углеводный комплекс ячменя. Возрастала доля декстринов почти в 5 раз, что вызвано декстринизацией крахмала ячменя под действием ИК-лучей. Улучшалась усвояемость углеводного комплекса ИК-обработанного ячменя, так как содержание водорастворимых веществ увеличивалось, а также повышалась атакуемость крахмала ячменя глюкоамилазой [7, 8].

Были изучены свойства различных видов зерна, подвергавшегося ИК-излучению с целью получения «взорванных» зерен. Под воздействием ИК-лучей резко увеличивается температура и давление парогазовой среды зерна, нарушается целостность крахмальных зерен и увеличивается доля высокоперевариваемых декстринов. «Взорванное» зерно отличается измененными структурой, формой и прочностью, а также практически стерильно [9].

Задачей использования ИК-обработки для зерна амаранта является получение новых функциональных продуктов питания высокого качества с заданными свойствами.

Материалы и методы

Термообработку амарантовой крупки ИК-методом осуществляли на установке УТЗ-4 (рисунок 1).

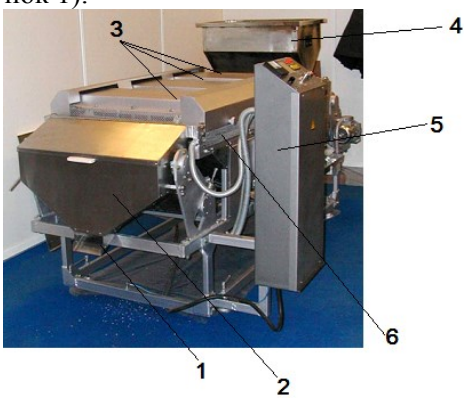


Рисунок 1. Общий вид установки УТЗ-4: 1 – разгрузочное отверстие; 2 – темперирующий бункер; 3 – нагревательная кассета; 4 – загрузочный бункер; 5 – пульт управления; 6 – ленточный транспортер

Figure 1. Main view of the installation of UTZ-4: 1 – discharge opening; 2 – tempering hopper; 3 – heating cassette; 4 – loading hopper; 5 – control panel; 6 – belt conveyor

Установка представляет собой нагревательную камеру, через которую проходит ленточный транспортер. Имеется возможность регулирования скорости движения ленты и толщины слоя материала на ленте. Нагревательная камера оборудована тремя кассетами, в каждую из которой встроены 27 кварцевых галогеновых ламп [10].

Определение крупности частиц муки проводили в соответствии с ГОСТ 27560 с использованием рассева лабораторного с частотой колебаний 180–200 об./с$^{-1}$ и комплекта сит из шелковой или синтетической ткани по ГОСТ 4403-91 и из проволочной сетки № 45 и 067.

Определение угла естественного откоса муки, средней плотности, а также объемной массы муки проводят согласно ГОСТ 28254-89.

Результаты исследования

Температурный режим обработки – 110…150 °С. При прохождении через камеру с амарантовой крупкой происходят физические изменения: крупка вспучивается и увеличивается в объеме в 1,6 – 2раза, а также растрескивается. Структурный каркас крупки разрушается. При повышении температуры под воздействием ИК-излучения влага превращается в пар, давление резко увеличивается, что приводит к уменьшению прочности зернового сырья и способствует снижению энергозатрат при его дальнейшем размоле [11].

Проводилась оценка процесса тепловой обработки амарантовой крупки при ее ИК-обработке на описанной установке. Для этого пропускали слой крупки различной толщины (образец 1 – 2…3 мм; образец 2 – 3…5 мм; образец 3 – 5…7 мм) с начальной температурой 22 °С по транспортеру аппарата с различной скоростью (0,025–0,110 м/с).

По результатам проводимых испытаний при ИК-обработке амарантовой крупки были получены:

– кинетика нагрева крупки в зависимости от плотности теплового потока при различной скорости движения ленты (рисунок 2);

– кинетика убыли массы амарантовой крупки при различном времени обработки и в зависимости от плотности теплового потока (рисунок 3).

Исследовали процесс нагрева амарантовой крупки, а также изменение ее массы в зависимости от скорости движения ленты транспортера, интенсивности потока ИК-излучения и толщины слоя амарантовой крупки в зоне термообработки.

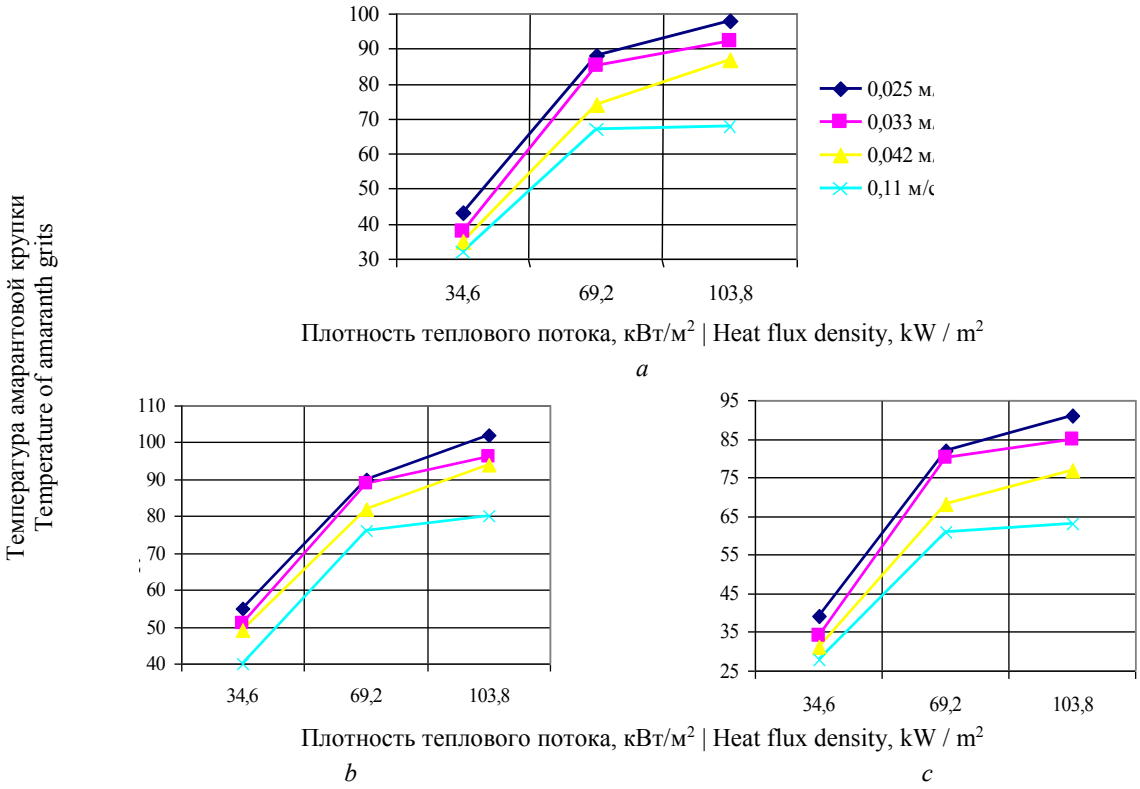


Рисунок 2. Кинетика нагрева крупки в зависимости от плотности теплового потока при различной скорости движения ленты: *a* – образец 2; *b* – образец 1; *c* – образец 3

Figure 2. Heating kinetics of grits, depending on the heat flux density at different tape speeds: *a* – sample 2; *b* – sample 1; *c* – sample 3

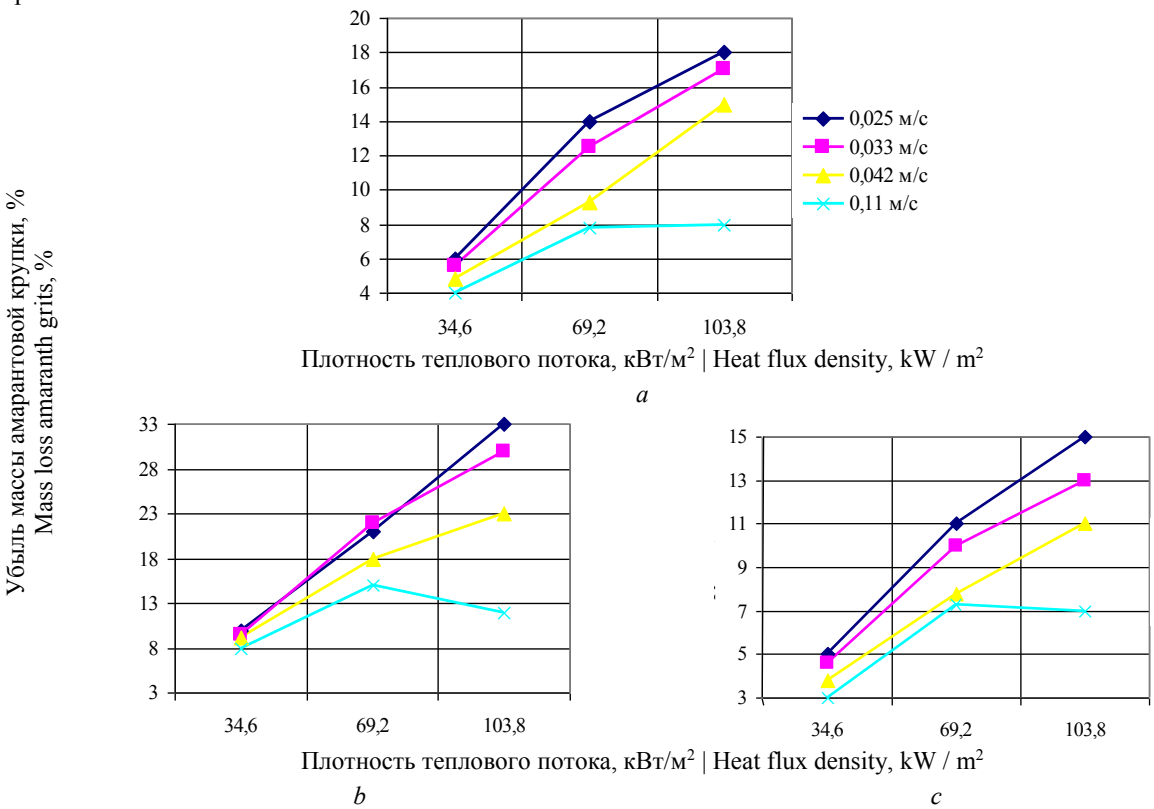


Рисунок 3. Кинетика убыли массы амарантовой крупки при различной скорости движения транспортера в зависимости от плотности теплового потока: a – образец 2; b – образец 1; c – образец 3

Figure 3. Kinetics of mass loss of amaranth grains at different speeds of movement of the conveyor depending on the heat flux density: a – sample 2; b – sample 1; c – sample 3

Были проведены опыты для различных комбинаций плотности ИК-излучения, продолжительности нахождения амарантовой крупки в зоне термообработки, причем толщина слоя крупки также изменялась. Были получены хорошие результаты при скорости транспортерной ленты 0,042 м/с и мощности ламп 69,2 кВт/м^2. Дальнейшие исследования были направлены на установление зависимости между параметрами микронизации амарантовой крупки и свойствами полученной из нее муки. Одной из основных характеристик любого вида муки является крупность помола, которая влияет на качество производимых из нее хлебобулочных и мучных кондитерских изделий. Мука крупного помола отличается более темным цветом по сравнению с мукой тонкого помола. Изделия, полученные из такой муки, характеризуются пониженным объемом, бледноокрашенной коркой и грубой толстостенной пористостью. Результаты фракционирования с помощью лабораторного рассева продуктов, полученных после ИК-обработки амарантовой крупки, представлены в таблице 1. Анализ данных таблицы 1 показал, что в результате микронизации при указанном режиме (образцы 1–3) наблюдается увеличение среднего размера частиц крупки на 2,58–12,39% соответственно по сравнению с исходной крупкой.

Таблица 1.

Результаты фракционирования по крупности частиц амарантовой крупки, подвергнутой ИК-обработке

Table 1.

The results of the fractionation according to the size of particles of amaranth grains, subjected to infrared processing

Наименование фракции, сход с сита номер Name of the faction, exit from the screen number	Доля фракции, %| Fraction, %			
	Образец 1 Sample 1	Образец 2 Sample 2	Образец 3 Sample 3	Контроль (исходная крупка) Control (initial grit)
067	83,6	75,5	70,8	62,6
045	12,1	20,7	26,0	34,5
27	4,3	3,8	3,2	2,9
Размер частиц, среднее значение, мкм Average particle size, um	653	633	596	581

Следует отметить, что выход муки из амарантовой крупки, обработанной ИК-излучением, выше, чем муки, полученной из нативной амарантовой крупки (таблица 2). Рассев показал, что сход с сита № 27 для муки из термообработанной амарантовой крупки в 2,3–3,5 раза увеличивается по сравнению с мукой из нативной крупки. Причем в первом случае сход с сита № 27 состоял в основном из оболочечных частиц, тогда как для второго случая сход включал не только оболочку крупки, но и крупные частицы перисперма.

Таблица 2.

Результаты рассева амарантовой муки

Table 2.

The results of sieving amaranth flour

Наименование фракции, сход с сита номер Name of the faction, exit from the screen number	Доля фракции, %| Fraction, %			
	Образец 1 Sample 1	Образец 2 Sample 2	Образец 3 Sample 3	Контроль (исходная крупка) Control (initial grit)
27	0,9	0,8	1,2	2,8
35	8,8	6,8	12,7	13,8
38	12,3	11,2	14,6	15,6
43	4,7	4,9	4,5	3,9
Проход через сито № 43 Pass through sieve No. 43	73,3	76,3	67,0	63,9
Размер частиц, среднее значение, мкм Average particle size, um	117	115	122	126

Данные таблицы 2 свидетельствуют о том, что эффективность размола термообработанной амарантовой крупки выше, чем нативной, причем отмечено, что полностью отделяется перисперм от оболочечных частиц.

В таблице 2 показано, что наименьший размер частиц был характерен для муки, полученной из 2-го образца крупки при скорости транспортерной ленты 0,042 м/с, мощности ИК-ламп 69,2 кВт/м^2, и толщине слоя крупки 3–5 мм, а максимальный – для муки, выработанной из контрольного образца – нативной крупки. Кроме того, данные таблицы 2 свидетельствуют о том, что все образцы полученной амарантовой муки соответствуют требованиям ГОСТ Р 52189-2003 для пшеничной муки первого сорта по такому показателю, как проход через сито № 38, тогда как для муки контрольного образца значение показателя – сход с сита № 27 (доля крупных частиц), не соответствует требованиям указанного стандарта.

Поскольку условия хранения, транспортирования и дозирования сыпучих материалов (муки, крупки) существенно зависят от их структурно-механических свойств, то для рациональной организации технологического процесса необходимо определить данные характеристики продуктов переработки зерна амаранта.

К структурно-механическим свойствам муки относятся такие показатели, как средняя плотность, объёмная масса и угол естественного откоса.

Сыпучие материалы могут сохранять равновесие на горизонтальной плоскости, при этом образуя некоторый угол с плоскостью, который называется углом естественного откоса. Основное влияние на величину угла естественного откоса сыпучих материалов оказывает их дисперсность (размер частиц, их неоднородность), наличие внутреннего трения между частицами, которое, в свою очередь, зависит от формы и характера частиц продукта, а также его влажности. Определив значение угла естественного откоса исследуемого материала, можно сделать вывод о его сыпучести, так как данный показатель обратно пропорционален величине угла естественного откоса [10, 11].

Для подбора емкостей для хранения и транспортирования сыпучего материала необходимо знать его массу, которую можно рассчитать, определив объемную массу продукта. Существует зависимость: чем больше объемная масса, тем меньше места необходимо для размещения определенного количества сырья. Объемная масса сыпучего материала зависит от его влажности, гранулометрического состава, а также от химического состава, в частности содержания золы.

Результаты определения средней плотности, объемной массы и угла естественного откоса продуктов переработки зерна амаранта приведены на рисунке 4 и в таблице 3.

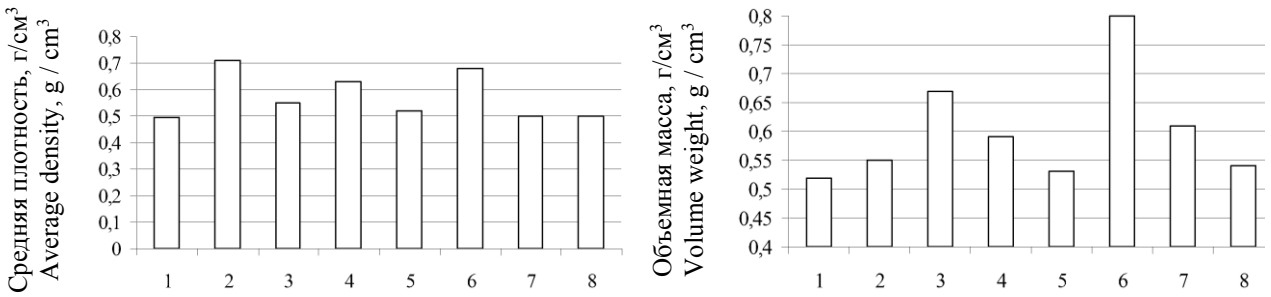


Рисунок 3. Структурно-механические свойства муки и амарантовой крупки: *a* – средняя плотность; *b* – объемная масса исследуемых образцов: 1 – термообработанная амарантовая крупка; 2 – мука из термообработанной крупки (образец 2); 3 – мука из термообработанной крупки (образец 3); 4 – мука из термообработанной крупки (образец 1); 5 – мука из необработанной крупки (контрольный образец); 6 – нативная амарантовая крупка; 7 и 8 – пшеничная мука первого и второго сорта

Figure 3. Structural and mechanical properties of flour and amaranth grains: *a* – average density; *b* – bulk density of the studied samples: 1 – heat-treated amaranth grit; 2 – flour from heat-treated grits (sample 2); 3 – flour from heat-treated grits (sample 3); 4 – flour from heat-treated grits (sample 1); 5 – flour from untreated grits (control sample); 6 – native amaranth grains; 7 and 8 – wheat flour of the first and second grade

Таблица 3.

Значение угла естественного откоса

Table 3.

Angle of repose

Проба | Sample	Угол естественного откоса, φ Angle of repose, φ	Проба | Sample	Угол естественного откоса, φ Angle of repose, φ
Амарантовая: | Amaranth:			
Крупка термообработанная Heat-treated crumbs	35,9	Нативная крупка Native grains	34,1
Мука из термобработанной крупки (образец 2) Heat-treated flour flour (sample 2)	43,8	Мука из нативной крупки Native Flour Flour	45,6
Мука из термобработанной крупки (образец 3) Heat-treated flour flour (sample 3)	43,3	Мука из термобработанной крупки (образец 1) Heat-treated flour flour (sample 1)	40,4
Пшеничная: | Wheat:		Ржаная обдирная Rye peeled	42
Первый сорт First grade	40		
Второй сорт Second grade	45		

Все проанализированные образцы муки из амарантовой крупки имеют несколько большее значение показателя средней плотности, чем у пшеничной муки первого и второго сорта. Образец 2 отличается наибольшими значениями средней плотности, что представляет удобство для транспортирования и хранения такой муки.

Значение показателя объемной массы наибольшее у нативной амарантовой крупки (0,8 г/см^3), а образцы 2 и 3 по данному показателю приближены к пшеничной муке первого и второго сорта.

Наименьший угол естественного откоса, следовательно, максимальная сыпучесть, характерны для нативной и термообработанной амарантовой крупки. Остальные проанализированные образцы амарантовой муки характеризовались тем, что для них значение показателя угла естественного откоса соответствовало значению данного показателя для традиционных видов муки: пшеничной (первого и второго сорта) и ржаной обдирной.

Заключение

Проведенные исследования подтверждают целесообразность термообработки ИК-методом амарантовой крупки перед размолом ее в муку с целью улучшения ее структурно-механических свойств. Определены параметры ИК-обработки амарантовой крупки на установке УТЗ-4, при которых структурно-механические показатели амарантовой муки, полученной из обработанной крупки, приближаются значениям муки пшеничной первого и второго сортов.

ЛИТЕРАТУРА

1 Пащенко Л.П., Жаркова И.М. Технология хлебопекарного производства. СПб: Лань, 2014. 672 с.

2 Филонова Н.Н., Белова М.В., Садыгова М.К. Разработка рецептуры и технологии хлеба пшеничного на основе смеси «Квазар» // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России: материалы всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. 2017. С. 89–91.

3 Садыгова М.К., Белова М.В. Хлеб пшеничный с добавлением муки из микронизированного нута // Актуальные проблемы и пути их решения в производстве, хранении и переработке сельскохозяйственной продукции: материалы научно-практической интернет-конференции. 2015. С. 87–91.

4 Зверев С.В., Зубцов В.А. Высокотемпературная микроионизация семян льна // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2018, № 2–3 (362–363). С. 78–81.

5 Завьялов М.А., Кухто В.А., Филиппович В.П., Морозов А.О. и др. Исследование процессов микронизации зерна пшеницы в установках СВЧ-энергетики // Хранение и переработка сельхозсырья. 2017. № 6. С. 9–14.

6 Пахомов В.И., Брагинец С.В., Бахчевников О.Н. Формирование технологического потока зернового сырья в комплексной системе внутрихозяйственного производства комбикормов // Вестник НГИЭИ. 2016. № 6 (61). С. 89–99.

7 Мохнаткин В.Г., Солонщиков П.Н., Зыков Ю.В. Микронизация зерна как один способов приготовления кормов // Наука – Технология – Ресурсосбережение: материалы X Международной научно-практической конференции. 2017. С. 177–181.

8 Краснощекова Т.А., Ищенко О.Ю. Использование микронизированных зерновых ингредиентов в комбикормах молодняка кур // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2015. № 4. С. 12–22.

9 Zverev S.V. Sesikashvili O. Modeling of urease thermal inactivation process in soybean at hight-temperature micronization // Potravinarstvo. 2018. V. 12. № 1. P. 512–519.

10 Zharkova I.M., Safonova Y.A., Slepokurova Y.I. Optimization of processing parameters of amaranth grits before grinding into flour // Journal of Physics: Conference Series "International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 – Mathematical Simulation and Data Processing". 2018. P. 032156.

11 Muyonga J.H, Andabati B., Ssepuuya G. Effect of heat processing on selected grain amaranth physicochemical properties // Food Science and Nutrition. 2014. № 2 (1). P. 9–16. doi: 10.1002/fsn3.75.

REFERENCES

1 Pashchenko L.P., Zharkova I.M. Tekhnologiya hlebopekarnogo proizvodstva [Technology of bakery production]. St. Petersburg, Lan, 2014. 672 p. (in Russian)

2 Filonova N.N., Belova M.V., Sadigova M.K. Development of the formulation and technology of wheat bread based on a mixture of "Quasar". Innovacionnye idei molodyh issledovatelej dlya agropromyshlennogo kompleksa Rossii [Innovative ideas of young researchers for the agro-industrial complex of Russia: materials of the All-Russian scientific-practical conference of young scientists]. 2017. pp. 89–91. (in Russian)

3 Sadigova M.K., Belova M.V. Wheat Bread with the Addition of Micronized Chickpea Flour. Aktual'nye problemy i puti ih resheniya v proizvodstve, hranenii i pererabotke sel'skohozyajstvennoj produkcii [Actual problems and solutions to the production, storage and processing of agricultural products: materials of the scientific and practical Internet conference]. 2015. pp. 87–91. (in Russian)

4 Zverev SV, Zubtsov V.A. High-temperature microionization of flax seeds. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Pishchevaya tekhnologiya* [Proceedings of higher educational institutions. Food technology]. 2018. no. 2–3 (362–363). pp. 78–81. (in Russian)

5 Zavyalov M.A., Kukhto V.A., Filippovich V.P., Morozov A.O. et al. Research of micronization of wheat grain in microwave power plants. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ya* [Storage and processing of agricultural raw materials]. 2017. no. 6. pp. 9–14. (in Russian)

6 Pakhomov V.I., Braginets S.V., Bakhchevnikov O.N. Formation of the technological flow of grain raw materials in the integrated system of on-farm production of compound feeds. *Vestnik NGIEHI* [Vestnik NGIEI]. 2016. no. 6 (61). pp. 89–99. (in Russian)

7 Mokhnatkin V.G., Solonschikov P.N., Zykov Yu.V. Mikronizaciya zerna kak odin sposobov prigotovleniya kormov. Nauka – Tekhnologiya – Resursosberezhenie. [Science – Technology – Resource Saving: materials of the international scientific-practical conference]. 2017. pp. 177–181. (in Russian)

8 Krasnoshchekova T.A., Ishchenko O.Yu. The use of micronized cereal ingredients in the feed of young chickens. *Kormlenie sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh i kormoproizvodstvo* [Feeding farm animals and feed production]. 2015. no. 4. pp. 12–22. (in Russian)

9 Zverev S.V. Sesikashvili O. Modeling of urease thermal inactivation process in soybean at hight-temperature micronization // Potravinarstvo. 2018. vol. 12. no. 1. pp. 512–519.

10 Zharkova I.M., Safonova Y.A., Slepokurova Y.I. Optimization of processing parameters of amaranth grits before grinding into flour // Journal of Physics: Conference Series "International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 – Mathematical Simulation and Data Processing". 2018. pp. 032156.

11 Muyonga J.H., Andabati B., Ssepuuya G. Effect of heat processing on selected grain amaranth physicochemical properties // Food Science and Nutrition. 2014. no. 2 (1). pp. 9–16. doi: 10.1002/fsn3.75

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ирина М. Жаркова д.т.н., доцент, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, zharir@mail.ru

Юлия А. Сафонова к.т.н., кафедра высшей математики и информационных технологий, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kulakova7@yandex.ru

Александр А. Самохвалов, кафедра управления, организации производства и отраслевой экономики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, samokhvalov 36@yandex.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Ирина М. Жаркова консультация в ходе исследования

Юлия А. Сафонова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Александр А. Самохвалов написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 21.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 06.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Irina M. Zharkova Dr. Sci. (Engin.), associate professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, zharir@mail.ru

Julia A. Safonova Cand. Sci. (Engin.), higher Mathematics and Information Technologies department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kulakova7@yandex.ru

Alexsander A. Samokhvalov, management, organization of production and sectoral economy department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, samokhvalov 36@yandex.ru

CONTRIBUTION

Irina M. Zharkova consultation during the study

Julia A. Safonova review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Alexsander A. Samokhvalov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.21.2018

ACCEPTED 11.6.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 640

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-49-54

Оценка эффективности сушки биоматериала с предварительной обработкой импульсным электрическим полем

Иван А. Шорсткий [1] i-shorstky@mail.ru

Дмитрий А. Худяков [1] dima.khudyakov.1995@mail.ru

[1] Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350042, Россия

Аннотация. Переход к эффективной экономике и эффективному производству требует построения основ для развития энергоэффективных технологий и процессов сушки биоматериалов для преобразования их в полезные продукты. Целью данной работы является анализ эффективности предварительной безтемпературной обработки импульсным электрическим полем (ИЭП) в процессе конвективной сушки биоматериалов. Обработка ИЭП проводилась при напряженности поля 2, 4 и 6 кВ/см, количеством импульсов 500, с длительностью одного импульса 50 мкс. На основе данных электропроводности биоматериала до и после обработки ИЭП был определен параметр индекса вскрытых клеток, с максимальным значение 56%, что подтверждает наличие механизма электропорации структуры материала. Процесс сушки представлен с описанием различных математических моделей. Предварительная обработка импульсным электрическим полем при параметрах напряженности 4 и 6 кВ/см и количеством импульсов 500 позволила сократить время сушки на 11–13.8% для значения влажности E=0.02. Общие временные затраты на процесс сушки снижаются на 20-25 минут. При этом стоит отметить, что общее количество затрачиваемой энергии на предварительную обработку (<150 Вт/кг) по сравнению с энергией, затрачиваемой на сам процесс сушки несоизмеримо мала. Статистический анализ рассмотренных математических моделей показал хорошую сходимость большинства моделей с экспериментальными данными. Рассмотренная технология предварительной безтемпературной обработки ИЭП может обеспечить эффективную переработку биоматериалов в необходимом количестве с получением качественных и безопасных продуктов. Полученные данные кинетики процесса могут использованы для построения математической модели процесса сушки с применением предварительной электрофизической обработки.

Ключевые слова: эффективность, биоматериал, электрофизическая обработка, импульсное электрическое поле, сушка

Pulsed electric field pre-treatment efficiency analysis in processes of biomaterials drying

Ivan A. Shorstkii [1] i-shorstky@mail.ru

Dmitry A. Khudyakov [1] dima.khudyakov.1995@mail.ru

[1] Kuban State University of Technology, Moskovskaya str., 2, 350072, Russia

Abstract. The transition to an efficient economy and efficient production requires building the foundations for the development of energy efficient technologies and the drying of biomaterials to convert them into useful products. The purpose of this work is to analyze the effectiveness of pretreatment with a pulsed electric field (PEF) in the process of convective drying of biomaterials. The PEF was processed with electric field strength of 2, 4 and 6 kV/cm, the number of pulses 500, with a pulse duration of 50 μs. Based on the electrical conductivity data of the biomaterial, the index of the disintegration 56% was determined before and after the PEF treatment, which confirms the existence of an electroporation mechanism of the material structure. The drying process is presented with a description of various mathematical models. PEF pre-treatment with the parameters of electric field strength 4 and 6 kV / cm and the number of impulses 500 allowed to reduce the drying time by 13.8% for the value E = 0.02. Total time spent on the drying process reduced by 20-25 minutes. It should be noted that the total energy spent on PEF pre-treatment (<150 W / kg) compared with the energy spent on the drying process is incommensurably small. Statistical analysis of the considered mathematical models showed good convergence of most models with experimental data. The considered technology of pretreatment of PEF can ensure the effective processing of biomaterials in the required amount to obtain high-quality and safe products. Obtained data of the kinetics process can be used to the mathematical model of the drying process design with the use of preliminary treatment processing.

Keywords: efficiency, biomaterial, electrical treatment, pulsed electric field, drying

Введение

В связи с развитием сопутствующих электрофизических методов точечного воздействия на внутреннюю структуру продовольственных материалов важной задачей является обеспечение эффективной переработки биоматериалов в необходимом количестве с получением качественных и безопасных продуктов.

К процессам предварительной подготовки материала к сушке методами электрофизической обработки можно отнести процессы ультразвукового воздействия [1], СВЧ-обработки [2] и процессы обработки электрическими полями высоких напряжений [3–5], влияющие на внутреннюю структуру материала за счет градиента температур, потенциала и давления.

Для цитирования

Шорсткий И.А., Ходяков Д.А. Оценка эффективности сушки биоматериала с предварительной обработкой импульсным электрическим полем // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 49–54. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-49-54

For citation

Shorstkii I.A., Khudykov D.A. Pulsed electric field pre-treatment efficiency analysis in processes of biomaterials drying. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 49–54. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-49-54

В работе развивается новое перспективное научное направление совершенствования процесса сушки биоматериалов путем порообразования биоматериала за счет предварительного электрофизического воздействия импульсным электрическим полем.

Обработка импульсным электрическим полем (ИЭП) – современная энергоэффективная технология, способствующая процессу электропорации структуры биоматериала. Одним из важных преимуществ обработки ИЭП для процесса сушки является возможность непрерывно в течение длительного времени разрушать структуру мембран клеток без значительного роста температуры. Это достигается кратковременной длительностью импульса в диапазоне нескольких десятков микросекунд. Такая низкая длительность воздействия подчеркивает энергоэффективность процесса в отличие от традиционного электромагнитного нагрева. К основным параметрам обработки ИЭП относят: напряженность поля E (кВ/см), температуру обработки T (°С), длительность импульса W (мкс), число импульсов $n = \tau/f$, где τ – время обработки, с; f – частота следования импульсов, Гц.

Эффект обработки ИЭП объясняется разрушением мембран клеток, представленных в формате конденсатора, заполненного диэлектрической средой. Цитоплазма и окружающая ее межклеточная среда обладают большей величиной диэлектрической проницаемости, чем клеточная мембрана. Разность между диэлектрическими постоянными на обеих сторонах мембраны способствует появлению трансмембранного потенциала, который приводит к разрушению мембраны клеток.

В традиционном процессе сушка биоматериалов сопровождается высокими временными и энергетическими затратами. При этом качество биоматериала зависит от температурного режима и длительности сушки, как правило, чем выше температура сушки, тем ниже качество получаемого продукта.

Совершенствование процесса сушки с применением короткого по длительности обработки процесса электропорации с помощью ИЭП способствует снижению энергетических затрат и температурного режима.

Цель работы – оценка эффективности предварительной обработки ИЭП биоматериалов и установление математической модели для описания процесса сушки.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования был выбран биоматериал с ярко выраженной клеточной структурой – белый репчатый лук. Образцы хранились в защищенном от солнца месте при температуре 4 °С до последующего использования. Начальная влажность образцов определялась с помощью сушки в сушильном шкафу при температуре 105 °С и составляла 85±3,2%. Материал лука перед обработкой ИЭП достигал комнатной температуры (23 °С), нарезался на образцы, толщиной 5 мм, укладывался в слои и далее поступал в установку с плоскопараллельно расположенными электродами обработки (рис. 1) [5]. На обкладки высоковольтного электрода подавался трапецеидальный импульс со скоростью роста 1 кВ/мкс (рис. 1).

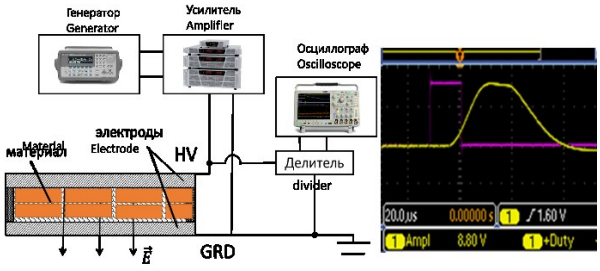


Рисунок 1. Экспериментальная схема обработки ИЭП и осциллограмма характера импульса

Figure 1. Experimental PEF treatment scheme and pulse graph from oscilloscope

Обработка ИЭП

Для обработки ИЭП использовалась уникальная установка Matsusada с максимальной амплитудой 20 кВ [5], оснащенная камерой обработки биоматериалов на базе Центра коллективного пользования КубГТУ. Установка способна формировать импульсы различной геометрической формы (прямоугольной, импульсной, трапециевидной). Обработка ИЭП проводилась с показателями напряженности электрического поля 2, 4 и 6 кВ/см. Длительность обработки составила 5 с, за которое через структуру материала прошло 500 импульсов длительностью 50 мкс. Данные диапазон режима обработки был взят на основании работ по применению ИЭП к процессам сушки яблок, моркови и красного перца [6–9]. На рисунке 1 показан подаваемый генератором сигнал (прямоугольный) и действительный сигнал обработки материала (трапециевидный). При этом стоит отметить, что угол наклона трапеции увеличивается с ростом влажности и электропроводности материала.

Измерение электропроводности

Величина электропроводности образцов измерялась с использованием прецизионного LCR метра 1920 Quadtech (IET LABS, NY, USA) и набора 4-пиновых коннекторов (1700–03 Kelvin Leads) по схеме, представленной на рисунке 2. Анализ электропроводности проводился на базовых значениях частот: 10, 100 Гц, 1, 10, 100 кГц.

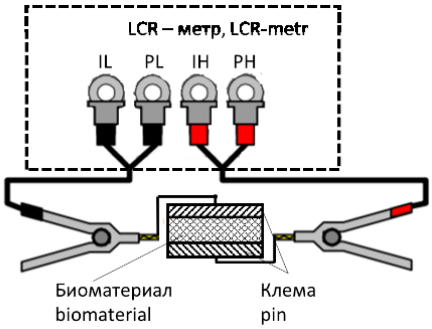


Рисунок 2. Схема измерения электропроводности образца материала

Figure 2. Material conductivity measuring scheme

Импеданс биологического объекта представляет собой создаваемое вдоль домена напряжение, формируемое поступающим в объект переменным током.

Удельная электропроводность биоматериала может быть получена из величины проводимости с помощью уравнения [5]:

$$\sigma = G \cdot l / A,$$

где G – проводимость, см; l – толщина, м; A – площадь образца, м^2.

Величина вскрытых клеток будет определяться из данных электропроводности:

$$Z = (\sigma - \sigma_i) / (\sigma_d - \sigma_i),$$

где σ – электропроводность образца после обработки; σ_i – начальная электропроводность образца (значение близко к нулю); σ_d – электропроводность максимально разрушенных клеток образцов.

Кинетика сушки

Для анализа процесса сушки с предварительной обработкой ИЭП использовался сушильный шкаф с температурой сушки 105 °С. Перед началом эксперимента сушильный шкаф в течение 1 ч выходил на заданный температурный режим. Нарезанные образцы материала массой 60 г загружались в ячейку с перфорированным дном и размещались в сушильной камере. Вес образца регистрировался с помощью электронных весов. Общая длительность процесса сушки составила 8 ч до достижения влажности биоматериала на уровне 2%.

Моделирование процесса сушки

Анализ материала, предварительно обработанного ИЭП и необработанного, проводился с использованием моделей сушки в тонком слое [6].

Величина влажности материала определялась по уравнению:

$$E = \frac{M_i - M_R}{M_0 - M_R},$$

где M_i – масса в любой момент времени, (кг/кг); M_R – равновесная влажность, (кг/кг); M_0 – начальная влажность материала, (кг/кг).

При этом скорость сушки определялась по уравнению:

$$\omega = \frac{M_{i+\Delta i} - M_i}{\Delta i},$$

где $M_{i+\Delta i}$ и M_i – масса в любой момент времени i и Δi, (кг/кг).

Проанализировано 6 математических моделей сушки для обработанного ИЭП и необработанного тонкого слоя биоматериала, найденных в литературе (таблица 1).

Таблица 1.

Математические уравнения для описания кинетики сушки биоматериала, обработанного ИЭП

Table 1.

Mathematical equations for describing the kinetics of drying biomaterials treated by PEF

Модель Model	Уравнение Equation	Источник Source
Ньютона Newton	$E = \exp(-k \cdot \tau)$	[6]
Page	$E = \exp(-k \cdot \tau^a)$	[7]
Henderson	$E = a \cdot \exp(-k \cdot \tau)$	[8]
Logarithmic	$E = a \cdot \exp(-k \cdot \tau) + b$	[9]
Midilli	$E = a \cdot \exp(-k \cdot \tau^c) + b \cdot \tau$	[10]
Двух стадийная Two-stage	$E = a \cdot \exp(-k \cdot \tau) + b \cdot \exp(-k_i \cdot \tau)$	[11]

Для подбора математической модели использовался регрессионный анализ. Модель с наибольшими значениями R^2, RMSE (средняя квадратичная ошибка) и CRV (коэффициент остаточной вариации) считалась наиболее адекватной [12]:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(E_{i.p} - E_p\right)^2}{\sum_{i=1}^{N}\left(E_{i.e} - E_p\right)^2},$$

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}\left(E_{i.p} - E_{i,e}\right)^2}{N}},$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(E_{i.p} - E_{i,e}\right)^2}{N - o},$$

$$\mathrm{CRV} = 100 \cdot \frac{\sqrt{\chi^2}}{Y}.$$

В данных уравнениях $E_{i.p}$ – безразмерный показатель влажности; $E_{i.e}$ – экспериментальное безразмерное значение влажности; E_p – средняя безразмерная влажность; N – количество замеров; o – число констант в уравнении; Y – среднее значение E.

Результаты и обсуждение

Кинетические закономерности сушки биоматериала представлены на рисунке 3 и 5.

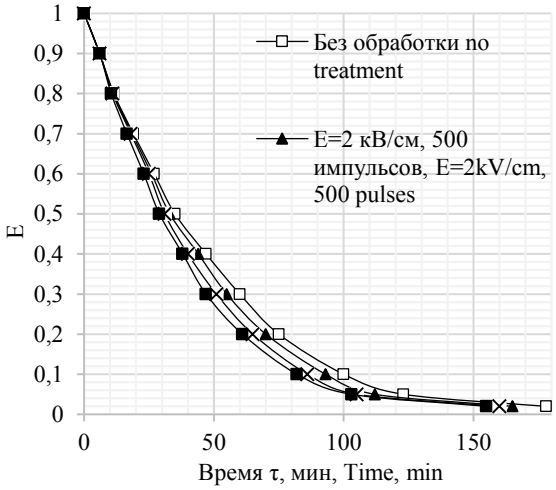


Рисунок 3. Кривая сушки для образцов без и после ИЭП обработки

Figure 3. Drying curve for samples without and after PEF treatment

Из опытных данных, полученных на экспериментальной установке, следует, что при сушке предварительно обработанного биоматериала наблюдаются незначительные периоды прогрева и период падающей скорости сушки.

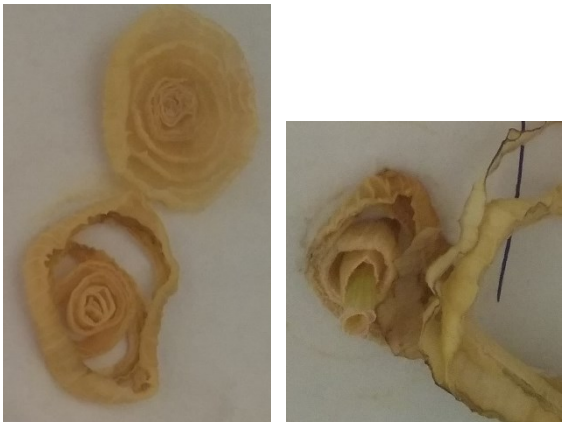


Рисунок 4. Необработанный (слева) и обработанный ИЭП материал (справа)

Figure 4. Treated (left) and untreated material (right)

Материал после обработки обладает более ярким, насыщенным цветом, имеет более гибкую структуру (рисунок 4).

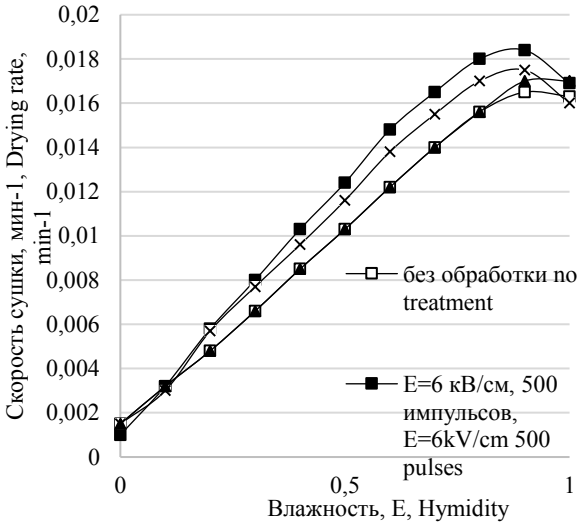


Рисунок 5. Кривая скорости сушки для образцов без и после ИЭП обработки

Figure 5. Drying rate curve for samples without and after PEF treatment

Необходимо отметить, что предварительная обработка ИЭП положительно влияет на процесс сушки. Процесс высушивания биоматериала до $E = 0{,}02$ составил порядка 180 мин, тогда как обработанные ИЭП образцы достигли данного показателя при значениях времени 155–160 мин. Данный факт означает, что обработка позволила сократить время сушки на 11,0–13,8%. Как известно, сокращение времени затрат напрямую связано с энергопотреблением (рисунок 6).

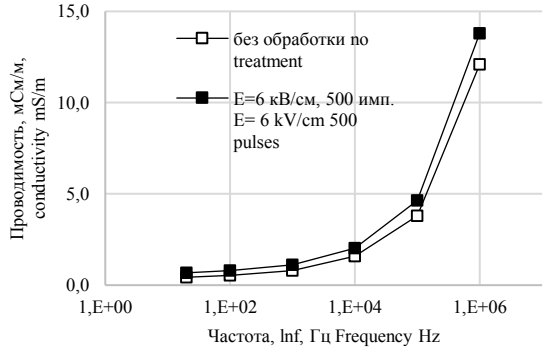


Рисунок 6. Изменение электропроводности от логарифма частоты до и после обработки ИЭП

Figure 6. Conductivity from frequency dependence before and after PEF treatment

С одной стороны, явление электропорации, наблюдаемое в процессе обработки материала, положительно влияет на процесс сушки, а с другой, если количество вскрытых клеток больше, чем при стандартном процессе сушки, $Z_{ИЭП} = 56 > Z$, это может привести к снижению скорости сушки в зоне $0{,}02 < E < 0{,}1$ как показано на рисунке 4.

Выбор математической модели позволяет прогнозировать процесс. Это необходимый инструмент определения оптимальных условий проведения процесса сушки. Математическое моделирование показало высокую схожесть большинства рассмотренных моделей. Статистические данные значений R^2, RSME и CVR находятся в диапазоне 0,977–0,999, 0,0026–0,0422 и 0,00001–0,00181 (таблица 2). Анализ указанных значений позволил установить, что модель Midili (таблица 1) является наиболее схожей с экспериментальными данными.

Таблица 2.

Статистический анализ результатов

Table 2.

Statistical analysis of results

Образец Sample	R^2	RSME	χ^2	CRV,%
Без обработки No treatment	0,999	0,0053	0,00003	1,83
E = 2 кВ/см, 500 имп., 500 pulses	0,998	0,0056	0,00003	1,85
E = 4 кВ/см, 500 имп. 500 pulses	0,999	0,0038	0,00001	1,39
E = 6 кВ/см, 500 имп. 500 pulses	0,997	0,0026	0,00001	0,96

Анализ кривой скорости сушки показывает, что сушка образца без и после обработки ИЭП проходит в две стадии. Первая, наибольшая по длительности стадия, отмечена для образца с обработкой E = 3 кВ/см. В начале процесса скорость сушки практически одинакова для образцов без и после обработки и составляла порядка 0,0168 и 0,0178 мин$^{-1}$. Максимальная скорость сушки образца без обработки была отмечена после нескольких минут начала процесса при значении E более 0,85, в то время как у образца после обработки значение E = 0,89. Увеличение скорости сушки на данном этапе может быть вызвано процессом электропорации и выделением воды из структуры клетки во внешнюю среду и ее ускоренным извлечением.

При оценке результатов процесса сушки биоматериалов, кроме энергетических затрат, важными являются факторы, затрагивающие безопасность и качество продукта, которые являются функцией состояния (температура, влажность, состав и др.) биоматериала. Процесс сушки многих биоматериалов является по существу переносом энергии и влажности в деформируемой пористой среде. В последующих работах по изучению предварительной электрофизической обработки будет построена математическая модель и проведено моделирование переноса теплоты и влаги в деформируемом биоматериале после электрофизической обработки, а также построена камера предварительной обработки на основе работы [13].

Заключение

Предварительная обработка ИЭП рассматривалась как метод улучшения процесса сушки лука. Использование обработки ИЭП способствовало сокращению времени сушки на 11,0–13,8% по сравнению с сушкой материала без обработки. В ходе исследования было выявлено, что величина электропроводности материала может выступать в роли параметра для определения параметра диффузии. Из анализа подбора эмпирических уравнений модели сушки обработанных ИЭП и необработанных материалов лука наиболее схожей оказалась модель Midili. Таким образом, предварительная обработка ИЭП может выступать в роли подготовительного этапа в процессах переработки растительных материалов на стадии сушки.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00448.

ЛИТЕРАТУРА

1 Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н. и др. Исследование эффективности ультразвуковой сушки // Техническая акустика. 2009. Т. 9. №. 9.

2 Schulze B., Hubbermann E.M., Schwarz K. Stability of quercetin derivatives in vacuum impregnated apple slices after drying (microwave vacuum drying, air drying, freeze drying) and storage // LWT-Food Science and Technology. 2014. V. 57. № 1. P. 426–433.

3 Шорсткий И.А., Кошевой Е.П. Экстракция с наложением импульсного электрического поля // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2015. № 4 (346). С. 40–42.

4 Wiktor A., Iwaniuk M., Sledz M., Nowacka M. et al. Drying kinetics of apple tissue treated by pulsed electric field // Drying Technology. 2013. V. 31. № 1. P. 112–119.

5 Shorstkii I., Mirshekarloo M.S., Koshevoi E. Application of pulsed electric field for oil extraction from sunflower seeds: electrical parameter effects on oil yield // Journal of Food Process Engineering. 2017. V. 40. № 1. doi:10.1111/jfpe.12281

6 Wiktor A., Witrowa-Rajchert D., Chudoba T. The influence of pulsed electric field on electrical conductivity and cell disintegration index of apple tissue // Problematic Journals of Agricultural Sciences. 2012. V. 569. P. 293–300.

7 Shynkaryk M.V., Lebovka N.I., Vorobiev E. Pulsed electric field and temperature effects on drying and rehydration of red beetroots // Drying Technology. 2008. V. 26. P. 696–704.

8 Gachovska T.K., Simpson M.V., Ngadi M.O., Raghavan G.S.V. Pulsed electric field treatment of carrots before drying and rehydration // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2009. V. 89. № 14. P. 2372–2376. doi: 10.1002/jsfa.3730

9 Grimi N., Mamouni F., Lebovka N., Vorobiev E. et al. Acoustic impulse response in apple tissues treated by pulsed electric field // Biosystems Engineering. 2010. № 105 (2). P. 266–272. doi:10.1016/j.biosystemseng.2009.11.005

10 Wiktor A., Iwaniuk M., Sledz M., Nowacka M. et al. Drying kinetics of apple tissue treated by pulsed electric field // Drying Technology. 2013. № 31. P. 112–119.

11 Witrowa-Rajchert D. Non-thermal preservation techniques used in production of designed food // Designed Food. PTTZ: Krakow, Poland, 2011. P. 186–205.

12 Chemical and Functional Properties of Food Components; edited by Z.E. Sikorski. Boca Raton: CRC Press, 2007. 544 p.

13 Пат. 164195, RU, B01D 11/02 (2006.01). Устройство для экстрагирования сырья / Шорсткий И.А., Кошевой Е.П. № 2015147072/05; Заявл. 2015147072; Опубл. 20.08.2016, Бюлл. №23.

REFERENCES

1 Hmelev V.N., SHalunov A.V., Barsukov R.V., Cyganok S.N. et al. Ultrasonic drying efficiency study. *Tehnicheskaya akustika* [Technical acoustic]. 2009. no. 9. pp. 9. (in Russian).

2 Schulze B., Hubbermann E.M., Schwarz K. Stability of quercetin derivatives in vacuum impregnated apple slices after drying (microwave vacuum drying, air drying, freeze drying) and storage. LWT-Food Science and Technology. 2014. vol. 57. no. 1. pp. 426–433.

3 Shorstkii I.A., Koshevoi E.P. Extraction with imposing of pulsed electric field. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Pishhevaja tehnologija* [News institutes of higher Education. Food technology]. 2015. no. 4. pp. 40–42. (in Russian).

4 Wiktor A., Iwaniuk M., Sledz M., Nowacka M. et al. Drying kinetics of apple tissue treated by pulsed electric field. Drying Technology. 2013. vol. 31. no. 1. pp. 112–119.

5 Shorstkii I., Mirshekarloo M.S., Koshevoi E. Application of pulsed electric field for oil extraction from sunflower seeds: electrical parameter effects on oil yield. Journal of Food Process Engineering. 2017. vol. 40. no. 1. doi:10.1111/jfpe.12281

6 Wiktor A., Witrowa-Rajchert D., Chudoba T. The influence of pulsed electric field on electrical conductivity and cell disintegration index of apple tissue. Problematic Journals of Agricultural Sciences. 2012. vol. 569. pp. 293–300. (in Polish).

7 Shynkaryk M.V., Lebovka N.I., Vorobiev E. Pulsed electric field and temperature effects on drying and rehydration of red beetroots. Drying Technology. 2008. vol. 26. pp. 696–704.

8 Gachovska T.K., Simpson M.V., Ngadi M.O., Raghavan G.S.V. Pulsed electric field treatment of carrots before drying and rehydration. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2009. vol. 89. no. 14. pp. 2372–2376. doi: 10.1002/jsfa.3730

9 Grimi N., Mamouni F., Lebovka N., Vorobiev E. et al. Acoustic impulse response in apple tissues treated by pulsed electric field. Biosystems Engineering. 2010. no. 105 (2). pp. 266–272.

10 Wiktor A., Iwaniuk M., Sledz M., Nowacka M. et al. Drying kinetics of apple tissue treated by pulsed electric field. Drying Technology. 2013. no. 31. pp. 112–119.

11 Witrowa-Rajchert D. Non-thermal preservation techniques used in production of designed food. Designed Food. PTTZ, Krakow, Poland, 2011. pp. 186–205. (in Polish).

12 Chemical and Functional Properties of Food Components; edited by Z.E. Sikorski. Boca Raton, CRC Press, 2007. 544 p.

13 Shorstkii I.A., Koshevoi E.P. Ustrojstvo dlya ehkstragirovaniya syr'ya [Device for material extraction]. Patent RF, no. 164195, 2016.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Иван А. Шорсткий к.т.н., доцент, кафедра технологического оборудования и систем жизнеобеспечения, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия, i-shorstky@mail.ru

Дмитрий А. Худяков магистр, кафедра технологического оборудования и систем жизнеобеспечения, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия, dima.khudyakov.1995@mail.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Ivan A. Shorstkii Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technical equipment and life-support systems department, Kuban State University of Technology, Moskovskaya st., 2 Kranodar, 350072, Russia, i-shorstky@mail.ru

Dmitry A. Khudyakov master student, technical equipment and life-support systems department, Kuban State University of Technology, Moskovskaya st., 2 Kranodar, 350072, Russia, dima.khudyakov.1995@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Иван А. Шорсткий написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Дмитрий А. Худяков обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты

CONTRIBUTION

Ivan A. Shorstkii wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Dmitry A. Khudyakov review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

ПОСТУПИЛА 20.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 15.11.2018

RECEIVED 9.1.2018

ACCEPTED 11.15.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 621.928:664(06)

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-55-62

Движение верхнего слоя зерновой смеси на вибрирующей рифленой поверхности

Сергей А. Мачихин [1] fondprod@rambler.ru
Александр А. Рындин [2] aleksandr-ryndin@rambler.ru
Александр М. Васильев [1] smachexpert@rambler.ru
Алла Н. Стрелюхина [1] alstrel@rambler.ru

[1] Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия
[2] МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127550, Россия

Аннотация. Наиболее неблагоприятные условия для осуществления сепарирования возникают в том случае, когда примеси и чистое зерно распределены равномерно. Поэтому слой сыпучей зерновой смеси должен проходить предварительную подготовку к участию в процессе, что может быть оценено с помощью анализа кинематических параметров движения частиц зернового потока, что и является целью данного исследования. Приведено описание рабочего органа и процесса вибрационного перемещения зерновой смеси. Для описания вибрационного перемещения зерновой смеси рассмотрена двуслойная модель, в которую внесены изменения, обусловленные наличием на опорной поверхности рифлей в виде прямолинейных пластин. При исследовании движения верхнего слоя зернового потока рассматриваем движение материальной точки на наклонной плоскости, совершающей горизонтальные гармонические колебания перпендикулярно линии наибольшего ската. Рассмотрение схемы сил, действующих на частицу в относительном движении и условий движения частицы, дало возможность записать дифференциальное уравнение относительного движения в проекциях на оси координат. Преобразования полученных зависимостей позволили определить минимальную силу инерции, при которой начнется относительное движение. Введя понятия и обозначения фазовых углов, при которых начинается и заканчивается относительное скольжение частицы, определили вид зависимости скорости частицы при ее скольжении. Были получены зависимости перемещения частицы в положительных и отрицательных направлениях осей x и y, зависимости полных перемещений по осям, а так же значения средней скорости частицы вдоль оси x. Рассмотрена модель двуслойного вибрационного перемещения зернового потока по поверхности с рифлями в виде прямоугольных пластин при их расположении перпендикулярно направлению колебаний.

Ключевые слова: сепарирующие машины, самосортирование, опорная поверхность, рифли, частота колебаний, амплитуды колебаний

Movement of the top layer of the grain mixture on the vibrating grooved surface

Sergej A. Machyhin [1] fondprod@rambler.ru
Aleksandr A. Ryndin [2] aleksandr-ryndin@rambler.ru
Aleksandr M. Vasiliev [1] smachexpert@rambler.ru
Alla N. Streljuhina [1] alstrel@rambler.ru

[1] Moscow State University of Food production, Volokolamskoe Highway, 11, Moscow, 125080, Russia
[2] Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya str., 49, Moscow, 127550, Russia

Abstract. The most unfavourable conditions for the implementation of separation arise in the case where the impurities and clean the grain evenly distributed. Therefore, a layer of granular grain mixture should be pre-prepared for participation in the process, which can be estimated by analyzing the kinematic parameters of the movement of grain particles, which is the purpose of this study. The description of the working body and the process of vibration movement of the grain mixture is given. To describe the vibrational movement of the grain mixture, a two-layer model is considered, in which changes are made due to the presence of riffles in the form of rectilinear plates on the support surface. In the study of the movement of the upper layer of the grain flow, we consider the movement of a material point on an inclined plane that makes horizontal harmonic oscillations perpendicular to the line of the greatest slope. Consideration of the scheme of forces acting on the particle in relative motion and the conditions of motion of the particle, made it possible to write the differential equation of relative motion in the projections on the coordinate axis. The transformations of the obtained dependences allowed us to determine the minimum force of inertia at which the relative motion will begin. By introducing the concepts and designations of the phase angles at which the relative sliding of a particle begins and ends, we determined the type of dependence of the particle velocity upon its sliding. The dependences of the particle movement in the positive and negative directions of the x and y axes, the dependence of the total displacements along the axes, as well as the average particle velocity along the x axis were obtained.the model of the two-layer vibrational movement of the grain flow along the surface with the riffles in the form of rectangular plates at their arrangement perpendicular to the direction of oscillations was Considered.

Keywords: separating machines, self-sorting, reference surface, riffs, oscillation frequency, oscillation amplitude

Для цитирования

Мачихин С.А., Рындин А.А., Васильев А.М., Стрелюхина А.Н. Движение верхнего слоя зерновой смеси на вибрирующей рифленой поверхности // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 55–62. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-55-62

For citation

Machyhin S.A., Rindin A.A., Vasilyev A.M., Streljuhina A.N. Movement of the top layer of the grain mixture on the vibrating grooved surface. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 55–62. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-55-62

Введение

Разделение (сепарирование) сыпучих смесей по разности размеров частиц или по разности плотностей широко используется в различных отраслях промышленности. Например, в пищевой при очистке продовольственного и семенного зерна [1–18], на горнообогатительных предприятиях при отделении руды от пустой породы и т. д. Большой вклад в развитие вибрационного сепарирование зернопродуктов внесли В.В. Гортинский, А.Б. Демский, М.А. Борискин, В.Ф. Веденев и еще ряд преподавателей кафедры «Теории машин и механизмов» Московского государственного университета пищевых производств. При зернопереработке сепарирование осуществляется в основном с целью очистки зерна от легких и тяжелых примесей, крупных и мелких примесей, от неполноценных зерен, от семян сорных растений. При этом часто используют очистительные машины с плоскими ситами, совершающими колебательные движения с целью повышения эффективности процесса разделения смеси, для увеличения производительности машин, а также качества разделения. При этом значительное влияние на процесс оказывает конструкция рабочих органов и их кинематические параметры.

Заметим, что непосредственно сепарирование (разделение) происходит в ограниченной по габаритам зоне, за ограниченное время: у ситовых машин над поверхностью перфорированного сита; у воздушных сепараторов в объеме, где происходит контакт ниспадающего слоя зерна, подаваемого часто вибрационным питателем, и восходящего потока очищенного воздуха. Неблагоприятные условия для осуществления сепарирования возникают в том случае, когда примеси и чистое зерно распределены равномерно. Было бы целесообразно иметь большую часть мелких примесей ближе к ситу (при ситовом разделении), а легких примесей – в верхней части слоя, подаваемого в воздушный сепаратор. Таким образом, слой сыпучей зерновой смеси должен проходить предварительную подготовку к участию в процессе, что может быть оценено с помощью анализа кинематических параметров частиц зернового потока, что и является целью данного исследования.

Основное отличие описанного ниже рабочего органа заключается в том, что наклонной рабочей поверхности с рифлями задается вибрационное перемещение перпендикулярное линии наибольшего ската, т.е. перпендикулярно рифлям. Рифли способствуют более качественному разделению зернового потока по массе и размеру зерна за время его движения от начала до окончания поверхности. Положительным результатом данного процесса можно считать более интенсивное всплывание легких частиц.

Описание рабочего органа и процесса вибрационного перемещения зерновой смеси

Плоская рабочая поверхность 1 (рисунок 1), наклонённая к горизонтали под углом α, совершает поступательные гармонические колебания по прямой, образующей с линией наибольшего ската поверхности угол, равный 90^0. Ранее была опубликована работа [3], в которой этот угол был менее 90^0. На рабочей поверхности на некотором расстоянии друг от друга расположены рифли 2, которые выполнены в виде прямолинейных пластин. Рифли установлены параллельно друг другу вдоль линии наибольшего ската рабочей поверхности. Зерновая смесь равномерно поступает на приёмный участок рабочей поверхности, расположенный у торцевой стенки 3. Зерновая смесь под действием колебаний образует на рабочей поверхности поток постоянной толщины, непрерывно движущийся от приёмного участка к противоположному сходовому участку поверхности. Толщина зернового потока больше высоты рифлей.

Частицы зерновой смеси, расположенные на различных расстояниях от рабочей (опорной) поверхности, имеют различия в движении вследствие неодинаковых условий связи с окружающими частицами и опорной поверхностью. Наименьшей подвижностью обладают частицы нижнего слоя зернового потока, заполняющие пространство между рифлями опорной поверхности.

Нижний слой зернового потока совершает колебания вместе с рабочей поверхностью. Верхний слой связан с нижним только силами трения, причем коэффициент сопротивления сдвигу слоёв уменьшается по мере приближения к верхней (свободной) поверхности зернового потока. Это обусловливает интенсивное послойное движение сыпучего тела и сопутствующее ему самосортирование, которое заключается во всплывании в верхние слои частиц меньшей плотности и большего размера и в погружении в нижние слои зернового потока частиц большей плотности и меньшего размера.

Расположение рифлей перпендикулярно направлению колебаний означает, что нижний слой зернового потока неподвижен относительно поверхности в направлении её колебаний. Таким образом, на рабочей поверхности созданы условия для повышения интенсивности послойного движения зернового потока.

Интенсивность послойного движения сыпучего тела оценивают степенью различия скоростей верхнего и нижнего слоёв потока. Скорость нижнего слоя в направлении колебаний равна нулю. Так как эффективность процесса самосортирования находится в прямой зависимости от интенсивности послойного движения зерновой смеси, то это означает, что на рабочей поверхности созданы наиболее благоприятные условия для протекания процесса самосортирования.

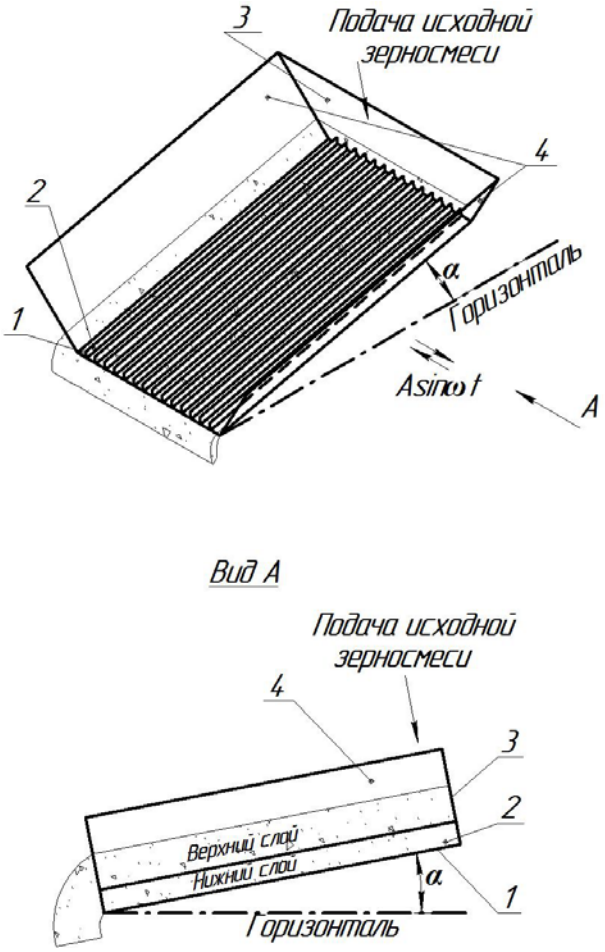


Рисунок 1. Схема рабочего органа и потока сыпучего тела на вибрирующей поверхности при непрерывной подаче исходной зерносмеси

Figure 1. The scheme of the working body and the flow of the bulk body on the vibrating surface with a continuous supply of the initial grain mixture

При колебаниях рабочего органа частицам сыпучего тела от ограничивающих его поверхностей передаются силовые импульсы, которые должны обеспечивать выполнение следующих условий. Во-первых, транспортирование зерновой смеси вдоль рабочей поверхности. Во-вторых, одинаковую на всей площади опорной поверхности интенсивность самосортирования зерновой смеси. Выполнение этих условий зависит от величины и направления силовых импульсов.

При осуществлении процессов сепарирования угол α наклона рабочей поверхности к горизонтали должен быть выбран таким, чтобы рабочая поверхность была самотормозящей. Следовательно, должно быть обеспечено направленное в среднем движение (транспортирование) зерновой смеси вдоль рабочей поверхности.

Верхний слой зернового потока совершает движение относительно поверхности под действием двух взаимно перпендикулярных сил: силы инерции переносного движения и составляющей силы тяжести (скатывающей силы), направленной вдоль линии наибольшего ската поверхности. При этом частицы верхнего слоя совершают сложное движение, которое может быть представлено состоящим из движений в двух взаимно перпендикулярных направлениях: «быстрое» колебательное движение относительно линии наибольшего ската и «медленное» движение вдоль линии наибольшего ската.

Для описания вибрационного перемещения зерновой смеси на предлагаемой опорной поверхности рассмотрим, как это сделано в работах [2, 3], двуслойную модель, в которую внесем изменения, обусловленные наличием на опорной поверхности рифлей в виде прямолинейных пластин. Будем считать верхний слой материальной точкой массой $m_{\text{В}}$, которая связана силами сухого трения с нижним слоем, совершающим колебания вместе с рабочим органом. Следовательно, при исследовании движения верхнего слоя зернового потока будем рассматривать движение материальной точки на наклонной плоскости, совершающей горизонтальные гармонические колебания в направлении, перпендикулярном линии наибольшего ската. При исследовании движения нижнего слоя рассмотрим элемент объёма между смежными рифлями, считая его материальной точкой, которая движется между смежными рифлями без образования зазоров и, следовательно, без ударов о боковые поверхности рифлей. При этом вследствие колебаний рабочего органа материальная частица имеет попеременно силовой контакт с боковой поверхностью то одной рифли, то другой.

Результаты и обсуждение

Движение верхнего слоя

Сложное движение материальной частицы рассмотрим как сумму переносного (вместе с рабочей поверхностью) и относительного (относительно поверхности) в системе координат xyz, жестко связанной с рабочим органом. Оси системы координат расположены следующим образом: ось x направлена вдоль рифлей

(пластин); ось y – перпендикулярно пластинам (перпендикулярно линии наибольшего ската поверхности); ось z – перпендикулярно плоскости рабочей поверхности (рисунок 2).

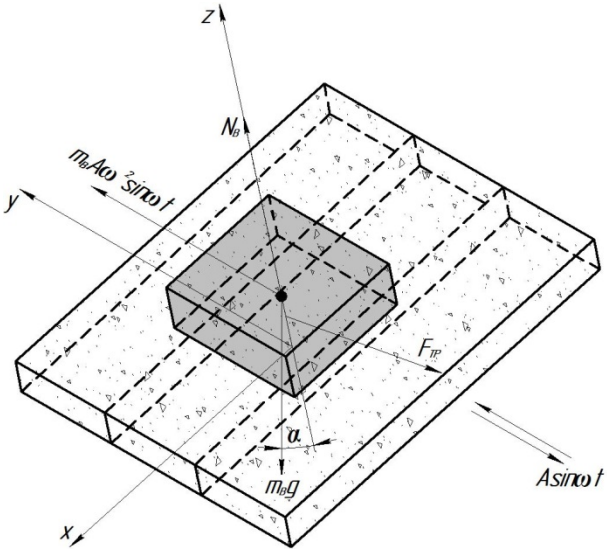


Рисунок 2. Схема сил, действующих на частицу в относительном движении

Figure 2. Scheme of forces acting on a particle in relative motion

Рабочая поверхность совершает горизонтальные гармонические колебания по закону

$$\left.\begin{aligned} y &= A\sin\omega t \\ \dot{y} &= A\omega\cos\omega t \\ \ddot{y} &= -A\omega^2\sin\omega t \end{aligned}\right\},$$

где A и ω – амплитуда и частота колебаний рабочей поверхности.

На рисунке 2 представлена схема сил, действующих на частицу массой m_B: $P_B = m_B A\omega^2 \sin\omega t$ – сила инерции переносного движения; $m_B g$ – сила тяжести частицы; N_B – нормальная реакция нижнего слоя; $F_{\text{ТР}}$ – сила трения о нижний слой, совершающий колебания вместе с рабочей поверхностью.

Сила трения $F_{\text{ТР}}$ направлена против относительной скорости V_{B-H} – верхнего слоя относительно нижнего и образует с осью y угол ν.

Условие движения материальной частицы относительно рабочей поверхности имеет вид

$$\sqrt{\left(m_B A\omega^2 \sin\omega t\right)^2 + \left(m_B g\sin\alpha\right)^2} \geq F_{\text{ТР}}. \quad (1)$$

Дифференциальные уравнения относительного движения частицы в проекциях на оси координат для случая скольжения частицы в положительном направлении оси y имеют вид

$$m_B\ddot{x} = m_B g\sin\alpha - F_{\text{ТР}}\sin\nu; \quad (2)$$

$$m_B\ddot{y} = m_B A\omega^2\sin\omega t - F_{\text{ТР}}\cos\nu\, sign\dot{y}; \quad (3)$$

$$m_B\ddot{z} = -m_B g\cos\alpha + N_B. \quad (4)$$

В рассматриваемом случае движение частицы вдоль оси x возможно только в положительном направлении. Знак проекции силы трения $F_{\text{ТР}}$ на ось x не зависит от направления скольжения частицы вдоль оси y. При скольжении частицы вдоль оси y имеет место симметрия движущих сил и сил сопротивления относительному движению частицы.

Так как движение частицы происходит без подбрасывания, то $z = \text{const}$ и $\ddot{z} = 0$, из уравнения (4) получим выражение силы нормального давления:

$$N_B = m_B g\cos\alpha.$$

Следовательно,

$$F_{\text{ТР}} = N_B f_c = m_B g f_c\cos\alpha, \quad (5)$$

где f_c – коэффициент сопротивления сдвигу верхнего слоя относительно нижнего.

Преобразуем неравенство (1) и подставим в него выражение силы трения $F_{\text{ТР}}$ из уравнения (5), получим

$$\left(m_B A\omega^2\sin\omega t\right)^2 + \left(m_B g\sin\alpha\right)^2 \geq \left(m_B g f_c\cos\alpha\right)^2. \quad (6)$$

Первое слагаемое неравенства (6) является переменной величиной, зависящей от времени. Максимальное значение по абсолютной величине это слагаемое принимает при $|\sin\omega t| = 1$. Следовательно, угол ν, который сила трения $F_{\text{ТР}}$ образует с осью y, является переменной величиной, зависящей от величины силы инерции переносного движения. Максимальное значение угол ν принимает в мгновение начала относительного движения частицы. Из неравенства (6) следует, что условие начала относительного движения частицы может быть представлено в виде

$$\left(m_B A\omega^2\sin\delta\right)_{\min} = \sqrt{\left(m_B g f_c\cos\alpha\right)^2 - \left(m_B g\sin\alpha\right)^2},$$

где $\delta = \omega t$ – фазовый угол, аналог безразмерного времени [11].

Тогда минимальное значение силы P_B инерции переносного движения, при котором частица может начинать относительное движение, имеет вид

$$\left(P_B\right)_{\min} = m_B g\sqrt{\left(f_c\cos\alpha\right)^2 - \sin^2\alpha}.$$

Минимальное и максимальное значения угла ν могут быть определены по формулам

$$\nu_{\max} = \arcsin\frac{\sin\alpha}{f_c\cos\alpha},$$

$$\nu_{\min} = \operatorname{arctg}\frac{g\sin\alpha}{A\omega^2}.$$

Анализ приведенных формул позволил сделать следующие выводы. Максимальное значение угла ν не зависит от кинематических параметров (амплитуда и частота) колебаний рабочей поверхности, а зависит от угла α наклона поверхности к горизонтали и от коэффициента f_c трения скольжения верхнего слоя относительно нижнего. Минимальное значение угла ν зависит от амплитуды и частоты колебаний рабочей поверхности и от угла α её наклона к горизонтали. Поскольку угол ν изменяется в достаточно узком диапазоне его значений, будем считать угол ν постоянным и примем его значение как среднее максимального и минимального значений.

Преобразуя (2) и (3) с учетом (5) получаем,

$$\ddot{x} = g\cdot\left(\sin\alpha - f_c\cos\alpha\sin\nu\right) \qquad (7)$$

и

$$\ddot{y} = A\omega^2\cdot\left(\sin\delta \mp \frac{gf_c\cos\alpha\cos\nu}{A\omega^2}\right). \qquad (8)$$

В уравнении (8) верхний знак в выражении, стоящем в круглых скобках, соответствует скольжению частицы в положительном направлении оси y, нижний знак – в отрицательном.

Обозначим

$$Z_{\pm} = \pm\frac{gf_c\cos\alpha\cos\nu}{A\omega^2}. \qquad (9)$$

Тогда уравнение (8) приводим к виду

$$\ddot{y} = A\omega^2\cdot\left(\sin\delta - Z_{\pm}\right). \qquad (10)$$

В (9) и (10) верхние индексы и знаки относятся к случаю скольжения частицы в положительном направлении оси y $\left(\dot{y}>0\right)$, а нижние индексы и знаки – к случаю скольжения в отрицательном направлении оси y $\left(\dot{y}<0\right)$.

Обозначим фазовые углы δ, при которых начинается относительное скольжение частицы в положительном и отрицательном направлениях оси y, δ_{1+} и δ_{1-}, а фазовые углы окончания этих скольжений δ_{2+} и δ_{2-}.

Скольжение частицы в положительном направлении оси y может начаться, если $\ddot{y}\ge 0$, то есть при $\sin\delta_{1+}\ge Z_+$, где Z_+ – безразмерный параметр сопротивления относительному движению частицы в положительном направлении оси y. Скольжение частицы в отрицательном направлении может начаться, если $\ddot{y}\le 0$, то есть при $\sin\delta_{1-}\le Z_-$.

Как видно из формулы (9), в рассматриваемом случае вибрационного перемещения имеет место равенство $Z_+ = \left|Z_-\right|$. Это является следствием того, что, как отмечено выше, при скольжении частицы вдоль оси y имеет место симметрия движущих сил и сил сопротивления относительному скольжению.

Как установлено в работах [10, 11], при таких условиях вибрационного перемещения частица может совершать движение относительно колеблющейся поверхности в двух режимах. Согласно принятой в этих работах терминологии это режим 1 и режим 2. Режим 1 – двустороннее скольжение частицы с двумя паузами. Режим 2 – двустороннее скольжение частицы без пауз (с двумя мгновенными остановками).

В сепарирующих машинах из перечисленных выше режимов целесообразно обеспечивать движение частиц зерновой смеси в режиме 2. Этот режим обеспечивает наиболее рациональное использование времени пребывания сепарируемой зерносмеси на рабочей поверхности, так как процесс самосортирования происходит эффективно при относительном движении слоёв зерновой смеси.

Для определения зависимости скорости частицы при её скольжении в положительном направлении оси y проинтегрируем уравнение (10) в пределах от $\dot{y}=0$ до текущего значения скорости $\dot{y}>0$ и от δ_{1+} до текущего значения фазового угла δ. Зависимость скорости имеет вид

$$\dot{y}\left(\delta\right) = A\omega\cdot\left[\left(\cos\delta_{1+}-\cos\delta\right) - Z_+\cdot\left(\delta-\delta_{1+}\right)\right]. \qquad (11)$$

Правая часть уравнения обращается в ноль в мгновение прекращения скольжения частицы в положительном направлении оси y, то есть при $\delta=\delta_{2+}$. Поэтому после подстановки $\delta=\delta_{2+}$ в уравнение (11) имеем

$$\cos\delta_{1+} - \cos\delta_{2+} = Z_+\cdot\left(\delta_{2+}-\delta_{1+}\right). \qquad (12)$$

Проведем аналогичные преобразования при скольжении в отрицательном направлении, получим

$$\cos\delta_{1-} - \cos\delta_{2-} = Z_-\cdot\left(\delta_{2-}-\delta_{1-}\right). \qquad (13)$$

Начало движения частицы в каждом из направлений совпадает по времени и фазовому углу с окончанием движения в противоположном направлении, то есть должно выполняться условие

$$\begin{cases} \delta_{1-} = \delta_{2+} \\ \delta_{2-} = \delta_{1+} + 2\pi \end{cases}. \quad (14)$$

Подставим значения фазовых углов δ_{1-} и δ_{2-} из системы уравнений (14) в уравнение (13) и после преобразований получим

$$\cos\delta_{1+} - \cos\delta_{2+} = Z_- \cdot \left(\delta_{2+} - \delta_{1+} - 2\pi\right). \quad (15)$$

Из уравнения (12) и (15), имея в виду, что $Z_- = -Z_+$, получим

$$\delta_{2+} - \delta_{1+} = \pi,$$

аналогично

$$\delta_{2-} - \delta_{1-} = \pi.$$

Следовательно, при установившемся движении частицы в режиме 2 при выполнении условия $Z_+ = |Z_-|$ фазовые углы начала и окончания скольжения в каждом из направлений отличаются друг от друга на π.

Максимальное значение параметра $Z_+ = (Z_+)_{2\max}$, при котором частица совершает движение относительно рабочей поверхности в режиме 2, равно

$$(Z_+)_{2\max} = \frac{2}{\sqrt{4+\pi^2}}. = 0{,}537.$$

Аналогично имеем $(Z_-)_{2\min} = -0{,}537$.

Аналитические выражения для определения фазовых углов δ_{1+} и δ_{2+} получены в виде

$$\delta_{1+} = \frac{\pi}{2} - \arcsin\frac{\pi Z_+}{2};$$

$$\delta_{2+} = \frac{3\pi}{2} - \arcsin\frac{\pi Z_+}{2}.$$

Следующим этапом решения рассматриваемой задачи вибрационного перемещения является определение траектории частицы при её движении относительно поверхности.

Для определения зависимости перемещения частицы в положительном направлении оси y проинтегрируем уравнение (11) в пределах от δ_{1+} до текущего значения фазового угла $\delta < \delta_{2+}$ и от $y = 0$ до текущего значения перемещения $y_+ > 0$. При интегрировании имеем в виду, что $\dot{y} = \frac{dy}{dt}$, $\delta = \omega t$ и $\dot{y} = \frac{\omega dy}{d\delta}$. Получаем

$$y_+(\delta) = A\left[\begin{array}{l} \left(\cos\delta_{1+} + Z_+\delta_{1+}\right)\left(\delta - \delta_{1+}\right) - \\ -\left(\sin\delta - \sin\delta_{1+}\right) - Z_+\frac{\delta^2 - \delta_{1+}^2}{2} \end{array}\right]. \quad (16)$$

Аналогично определим зависимость перемещения в отрицательном направлении оси y

$$y_-(\delta) = A\left[\begin{array}{l} \left(\cos\delta_{1-} + Z_-\delta_{1-}\right)\left(\delta - \delta_{1-}\right) - \\ -\left(\sin\delta - \sin\delta_{1-}\right) - Z_-\frac{\delta^2 - \delta_{1-}^2}{2} \end{array}\right]. \quad (17)$$

Полные перемещения частицы в положительном y_+ и в отрицательном y_- направлениях оси y получим, подставив в уравнение (16) $\delta = \delta_{2+}$, а в уравнение (17) $\delta = \delta_{2-}$

Для определения зависимости скорости частицы вдоль оси x проинтегрируем уравнение (7) в пределах от δ_{1+} до текущего значения фазового угла $\delta < 2\pi + \delta_{1+}$ и от $\dot{x} = 0$ до текущего значения скорости $\dot{x} > 0$:

$$\dot{x}(\delta) = \frac{g}{\omega}\left(\sin\alpha - f_c\cos\alpha\sin\nu\right)\left(\delta - \delta_{1+}\right). \quad (18)$$

Для определения зависимости перемещения частицы вдоль оси x проинтегрируем уравнение (18) в тех же пределах

$$x(\delta) = \frac{g}{\omega^2}\left[\begin{array}{l} -\left(\sin\alpha - f_c\cos\alpha\sin\nu\right)\delta_{1+}\left(\delta - \delta_{1+}\right) + \\ +\left(\sin\alpha - f_c\cos\alpha\sin\nu\right)\frac{\delta^2 - \delta_{1+}^2}{2} \end{array}\right]. \quad (19)$$

Для определения полного перемещения частицы вдоль оси x подставим в уравнение (17) $\delta = 2\pi + \delta_{1+}$, получим

$$x_+ = \frac{2\pi^2 g}{\omega^2}\cdot\left(\sin\alpha - f_c\cos\alpha\sin\nu\right).$$

Средняя скорость частицы вдоль оси x определяется по формуле

$$\mathrm{V_{CP}} = \frac{x_+\omega}{2\pi} = \frac{\pi g\left(\sin\alpha - f_c\cos\alpha\sin\nu\right)}{\omega}.$$

При построении траектории частицы верхнего слоя относительно рабочей поверхности вычисляем её координаты y и x при одинаковых текущих значениях фазового угла δ, лежащих в интервале значений, соответствующих интервалам относительного движения частицы. При скольжении частицы относительно поверхности в режиме 2 координату y вычисляем по уравнениям (16) и (17). В уравнении (16) текущее значение фазового угла изменяется в интервале от δ_{1+} до δ_{2+}, в уравнении (17) – от δ_{1-} до δ_{2-}. Координату x вычисляем по уравнению (19). При этом текущее значение фазового угла изменяется в интервале от δ_{1+} до δ_{2-}.

Заключение

Рассмотрена модель двуслойного вибрационного перемещения зернового потока по поверхности с рифлями в виде прямоугольных пластин, расположенных параллельно сходу зерна. При этом впервые в вибрационном сепараторе колебания рабочей поверхности направлены перпендикулярно линии наибольшего ската.

Показано, что верхний слой зернового потока, расположенный над рифлями, совершает сложное движение, состоящее из двух движений во взаимно перпендикулярных направлениях: «быстрое» колебательное движение относительно линии наибольшего ската и «медленное» движение вдоль линии наибольшего ската.

Для подтверждения теории процесса вибрационного перемещения зерновой смеси по предложенной рабочей поверхности сепаратора была проведена серия экспериментов. В ходе опытов использовали рабочие поверхности с рифлями различной высоты, а также изменяли основные параметры работы вибрационного сепаратора (амплитуда и частота колебания, угол наклона рабочей поверхности и т.д.).

Разработана программа расчета для построения траектории и определения средней скорости транспортирования частиц верхнего слоя вдоль рабочей поверхности.

Анализ полученных в ходе натурных экспериментов данных, программа построения траектории движения зерна и результаты сравнений экспериментальных и теоретических данных будут рассмотрены в дальнейшем.

ЛИТЕРАТУРА

1 Жиганков Б.В. Исследование процесса вибросепарирования продуктов шелушения риса на плоских ячеистых поверхностях. М., 1972. 211 с.

2 Оспанов А.Б. Вибрационное разделение смеси шелушенного и нешелушеного риса самосортированием в кольцевом канале. М., 1991. 149 с.

3 Киракосян Д.В. Очистка зерна пшеницы от примесей на рифленых поверхностях. М., 2014. 213 с.

4 Тарасевич С.В. Обоснование параметров сепаратора с вибрационно – качающейся решетной поверхностью для зерновых материалов. Барнаул, 2006. 27 с.

5 Балданов В.Б. Обоснование основных параметров гравитационного сепаратора для очистки зерна. Улан-Уде, 2013. 22 с.

6 Федоренко А.С. Параметры сепаратора для очистки фуражного зерна от крупных примесей. Барнаул, 2014. 242 с.

7 Корнев А.С. Повышение эффективности сепарации зерна на плоских решетах зерноочистительных машин. Воронеж, 2015. 156 с.

8 Гиевский А.М. Повышение эффективности работы универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин. Воронеж, 2016. 364 с.

9 Абидуев А.А. Повышение эффективности процессов фракционной очистки зерна и семян. Улан-Уде, 2018. 383 с.

10 Блехман И.И., Джанелидзе Г.Ю. Вибрационное перемещение. М.: Наука, 1964. 410 с.

11 Гортинский В.В., Демский А.Б., Борискин М.А. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях. М.: Колос, 1980. 304 с.

12 Godlewski S., Tekiel A., Piskorz W., Zasada F. et al. Supramolecular ordering of PTCDA molecules: The key role of dispersion forces in an unusual transition from physisorbed into chemisorbed state // ACS nano. 2012. V. 6. №. 10. P. 8536–8545.

13 Mikulionok I.O. Pretreatment of recycled polymer raw material // Russian Journal of Applied Chemistry. 2011. V. 84. №. 6. P. 1105–1113.

14 Hopkins J.C., Podgornik R., Ching W.-Y., French R.H. et al. Disentangling the effects of shape and dielectric response in van der Waals interactions between anisotropic bodies // The Journal of Physical Chemistry C. 2015. V. 119. №. 33. P. 19083–19094.

15 Tawfick S., De Volder M., Copic D., Park S.J. et al. Engineering of Micro-and Nanostructured Surfaces with Anisotropic Geometriesand Properties // Advanced Materials. 2012. V. 24. №. 13. P. 1628–1674.

16 Reserbat-Plantey A., Kalita D., Han Z., Ferlazzo L. et al. Strain superlattices and macroscale suspension of graphene induced by corrugated substrates // Nano letters. 2014. V. 14. №. 9. P. 5044–5051.

17 Khan M.A., Nadeem M.A., Idriss H. Ferroelectric polarization effect on surface chemistry and photo-catalytic activity: A review // Surface Science Reports. 2016. V. 71. №. 1. P. 1–31.

18 Ruths M., Israelachvili J.N. Surface forces and nanorheology of molecularly thin films // Springer Handbook of Nanotechnology. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010. P. 857–922.

REFERENCES

1 Zhigankov B.V. Issledovanie processa vibroseparirovaniya produktov shelusheniya risa na ploskih yacheistyh poverhnostyah [Investigation of the process of vibrosection of rice peeling products on flat cellular surfaces]. Moscow, 1972. 211 p. (in Russian).

2 Ospanov A.B. Vibracionnoe razdelenie smesi shelushennogo i neshelushenogo risa samosortirovaniem v kol'cevom kanale [Vibrational separation of a mixture of peeled and unshelled rice by self-sorting in the annular channel]. Moscow, 1991. 149 p. (in Russian).

3 Kirakosyan D.V. Ochistka zerna pshenicy ot primesej na riflenyh poverhnostyah [Purification of wheat from impurities on corrugated surfaces]. Moscow, 2014. 213 p. (in Russian).

4 Tarasevich S.V. Obosnovanie parametrov separatora s vibracionno – kachayushchejsya reshetnoj poverhnost'yu dlya zernovyh materialov [Substantiation of the parameters of the separator with a vibration - swinging sieve surface for grain materials.]. Barnaul, 2006. 27 p. (in Russian).

5 Baldanov V.B. Obosnovanie osnovnyh parametrov gravitacionnogo separatora dlya ochistki zerna [Justification of the main parameters of the gravity separator for cleaning grain]. Ulan-Ude, 2013. 22 p. (in Russian).

6 Fedorenko A.S. Parametry separatora dlya ochistki furazhnogo zerna ot krupnyh primesej [The parameters of the separator for cleaning feed grain from large impurities]. Barnaul, 2014. 242 p. (in Russian).

7 Kornev A.S. Povyshenie ehffektivnosti separacii zerna na ploskih reshetah zernoochistitel'nyh mashin [Improving the efficiency of grain separation on flat sieves of grain cleaning machines]. Voronezh, 2015. 156 p. (in Russian).

8 Gievskij A.M. Povyshenie ehffektivnosti raboty universal'nyh vozdushno-reshetnyh zernoochistitel'nyh mashin [Improving the efficiency of universal air-sieve grain cleaning machines]. Voronezh, 2016. 364 p. (in Russian).

9 Abiduev A.A. Povyshenie ehffektivnosti processov frakcionnoj ochistki zerna i semyan [Improving the efficiency of fractional purification of grain and seeds]. Ulan-Ude, 2018. 383 p. (in Russian).

10 Blekhman I.I., Dzhanelidze G.Yu. Vibracionnoe peremeshchenie [Vibrating movement]. Moscow, Nauka, 1964. 410 p. (in Russian).

11 Gortinskij V.V., Demskij A.B., Boriskin M.A. Processy separirovaniya na zernopererabatyvayushchih predpriyatiyah [Separation processes at grain processing enterprises]. Moscow, Kolos, 1980. 304 p. (in Russian).

12 Godlewski S., Tekiel A., Piskorz W., Zasada F. et al. Supramolecular ordering of PTCDA molecules: The key role of dispersion forces in an unusual transition from physisorbed into chemisorbed state. ACS nano. 2012. vol. 6. no. 10. pp. 8536–8545.

13 Mikulionok I.O. Pretreatment of recycled polymer raw material. Russian Journal of Applied Chemistry. 2011. vol. 84. no. 6. pp. 1105–1113.

14 Hopkins J.C., Podgornik R., Ching W.-Y., French R.H. et al. Disentangling the effects of shape and dielectric response in van der Waals interactions between anisotropic bodies. The Journal of Physical Chemistry C. 2015. vol. 119. no. 33. pp. 19083–19094.

15 Tawfick S., De Volder M., Copic D., Park S.J. et al. Engineering of Micro-and Nanostructured Surfaces with Anisotropic Geometriesand Properties. Advanced Materials. 2012. vol. 24. no. 13. pp. 1628–1674.

16 Reserbat-Plantey A., Kalita D., Han Z., Ferlazzo L. et al. Strain superlattices and macroscale suspension of graphene induced by corrugated substrates. Nano letters. 2014. vol. 14. no. 9. pp. 5044–5051.

17 Khan M.A., Nadeem M.A., Idriss H. Ferroelectric polarization effect on surface chemistry and photo-catalytic activity: A review. Surface Science Reports. 2016. vol. 71. no. 1. pp. 1–31.

18 Ruths M., Israelachvili J.N. Surface forces and nanorheology of molecularly thin films. Springer Handbook of Nanotechnology. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010. pp. 857–922.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Сергей А. Мачихин д.т.н., профессор, кафедра ресурсосберегающих процессов и технологий пищевых производств, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия, smachexpert@rambler.ru

Александр А. Рындин аспирант, кафедра бродильных технологий и виноделия, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия, aleksandr-ryndin@rambler.ru

Александр М. Васильев к.т.н., доцент, кафедра процессов и аппаратов перерабатывающих производств, МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127550, Россия, fondprod@rambler.ru

Алла Н. Стрелюхина д.т.н., профессор, кафедра ресурсосберегающих процессов и технологий пищевых производств, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия, alstrel@rambler.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 28.08.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 28.09.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Sergej A. Machyhin Dr. Sci. (Engin.), professor, resource saving processes and technologies of food production department, Moscow State University of Food production, Volokolamskoe Highway, 11, Moscow, 125080, Russia, smachexpert@rambler.ru

Aleksandr A. Ryndin graduate student, fermentation technologies and winemaking department, Moscow State University of Food production, Volokolamskoe Highway, 11, Moscow, 125080, Russia, aleksandr-ryndin@rambler.ru

Aleksandr M. Vasiliev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, processes and apparatus of processing industries department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya str., 49, Moscow, 127550, Russia, fondprod@rambler.ru

Alla N. Streljuhina Dr. Sci. (Engin.), professor, resource saving processes and technologies of food production department, Moscow State University of Food production, Volokolamskoe Highway, 11, Moscow, 125080, Russia, alstrel@rambler.ru

CONTRIBUTION

All authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 8.28.2018

ACCEPTED 9.28.2018

Краткое сообщение/Short message

УДК 664.87

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-63-68

Моделирование технологий производства многокомпонентных гранулированных продуктов

Анатолий Л. Майтаков [1] may585417@mail.ru
Анатолий М. Попов [1] popov4116@yandex.ru
Надежда Т. Ветрова [1]
Лилия Н. Берязева [1]
Мария А. Зверикова [1]

[1] Кемеровский Государственный университет, ул Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия

Аннотация. В статье приведены результаты исследований, на основании которых выработаны критерии и проведена идентификация элементов систем среды, изготавливаемого пищевого продукта; разработана новая концепция технологической подготовки процессов формирования функциональных физико-химических и физико-механических свойств полидисперсного продукта, позволяющая осуществить их системную унификацию, создать элементную базу для технологического обеспечения качества. Предложенная система идентификации элементов среды эксплуатации и объектов отказов позволяет объективно наметить варианты, методы и средства технологического обеспечения качества полуфабриката. Большое количество факторов, характеризующих объекты отказов, среду эксплуатации, виды формования и упрочнения гранул (брикетов), режимы формирования предопределило необходимость разработки структуры и вида информационной модели технологического блока, последующей разработки и реализации логики синтеза такой модели формирования комплектов оборудования, средств и технологических материалов. Принципиальная новизна предлагаемой концепции заключается в представлении информационной модели технологического блока логически определенными совокупности их элементов в виде виртуального многогранника, состоящего из виртуально поворотных вокруг трёх координатных осей конгруэнтных многогранников, грани которых являются носителями кодов условий эксплуатации, совокупностей характеристик, характеров отказов, технологических возможностей способов регулирования, структурных составляющих технологических блоков, в создании логики автоматизированного целевого синтеза или выбора структуры технологического блока. Обоснована методология реализации и оптимизации технологического блока с идентификацией элементов среды эксплуатации и объектов образов, технологического воздействия, установлена взаимосвязь качественных показателей функциональных элементов, среды эксплуатации и технологических воздействий, показан алгоритм и программы работы информационной модели технологического блока и методологии его синтеза.

Ключевые слова: моделирование, качество, среда, система, модуль, структура

Modeling of manufacturing technologies for multicomponent granulated products

Anatoly L. Maytakov [1] may585417@mail.ru
Anatoly M. Popov [1] popov4116@yandex.ru
Nadezhda T. Vetrova [1]
Lilia N. Beryazeva [1]
Marya A. Zverikova [1]

[1] Kemerovo State University, Krasnaya Str. 6, Kemerovo, 650000 Russia

Abstract. This article presents the results of research, on the basis of which the criteria and elements identification of the environment, manufactured food product; developed a new concept of technological preparation for the processes of formation functional physico-chemical and physico-mechanical properties of multicomponent granulated product, allowing to carry out their system unification, to create an element base for technological quality assurance. The proposed system of identification such elements of the operating environment and objects of failures allows you to objectively identify options, methods and means of technological quality assurance of semi-finished products. A large number of factors, that characterize the objects of failures, operating environment, types of molding and hardening of granules (briquettes), modes of formation determined the need to develop the structure and type of information model of the technological unit, the subsequent development and implementation of the logic of synthesis such model, the formation of sets equipment, tools and technological materials. The principal novelty of this proposed concept lies in the presentation of the information model of the technological unit logically defined set of their elements in the form of a virtual polyhedron consisting of virtually rotating around three coordinate axes congruent polyhedral, the faces of which are carriers of codes of operating conditions, sets characteristics, failure patterns, technological capabilities of control methods, structural components of technological units, in the creation of logic of automated target synthesis or selection of the structure of the process unit. The methodology of implementation and optimization of the technological unit with the identification of elements of the operating environment and objects of images, technological impact, the relationship of quality indicators of functional elements, operating environment and technological effects, shows the algorithm and program of the information model of the technological unit and the methodology of its synthesis

Keywords: modeling, quality, environment, system, module, structure

Для цитирования

Майтаков А.Л., Попов А.М., Ветрова Н.Т., Берязева Л.Н., Зверикова М.А. Моделирование технологий производства многокомпонентных гранулированных продуктов // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 63–68. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-63-68

For citation

Majtakov A.L., Popov A.M., Vetrova N.T., Berjazeva L.N., Zverikova M.A. Modeling of manufacturing technologies for multicomponent granulated products. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 63–68. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-63-68

Создание научных основ технологического обеспечения формирования качества многокомпонентных полидисперсных продуктов возможно лишь на основе формирования системы среды, системы технологического воздействия, рабочих модулей, комплекса оборудования, обеспечивающего процессы и технологические воздействия, а также выявления закономерностей взаимодействия этих систем [1, 4, 7].

Комплекс этих систем может быть представлен развёрнутым графом их структуры (рисунок 1). Под структурой здесь понимается совокупность устойчивых связей, обеспечивающая их целостность.

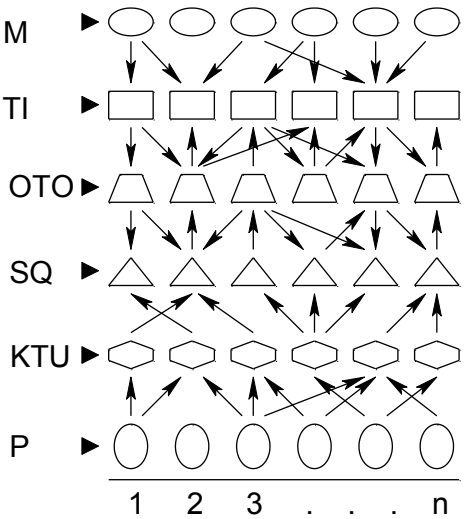


Рисунок 1. Развёрнутый граф структуры трёх систем: M – среда; TI – технологические воздействия; OTO – операторы технологической операции; SQ – комплекс оборудования; KTU – компоненты технологического блока; (процессоры); P – машина (аппарат); n – признаки элементов систем

Figure 1. The expanded graph of the structure of three systems: M – medium; TI – technological impacts; OTO – operators of the technological operation; SQ is a set of equipment; KTU – components of the technological unit (processors); P – machine (apparatus); n – characteristics of system elements

Открытый характер такой создаваемой системы указывает на то, что в ней должны доминировать не равновесие и стабильность, а неустойчивость и неравновесность. Сама неравновесность порождает избирательность системы, ее специфические реакции на воздействия внешней среды. Тесная связь со средой отражается на функционировании систем; они как бы приспосабливаются к внешним условиям. Например, слабые воздействия среды могут оказывать большее влияние на эволюцию системы, чем более сильные, но не гармонирующие с тенденцией развития системы [3–5].

Отсюда следует, что на создаваемую (нелинейную) систему не распространяется принцип суперпозиции, то есть когда действие двух факторов на ситуацию вызывает эффект, который не имеет ничего общего с результатами отдельного действия каждого фактора. В нелинейных системах развитие идет по нелинейным законам, приводящим к многовариантности путей выбора и альтернатив выхода из состояния неустойчивости.

В нелинейных системах процессы могут носить резко пороговый характер, когда при постепенном изменении внешних условий наблюдается скачкообразный их переход в другое качество. При этом старые структуры разрушаются, переходя к качественно новым структурам [2].

Неравновесные, открытые нелинейные системы постоянно создают и поддерживают неоднородность сред [5, 10]. Здесь между средой и системой могут создаваться отношения положительной обратной связи, которые еще более усиливают отклонения системы от равновесия. В результате такого взаимодействия открытой системы со средой могут наблюдаться самые неожиданные последствия.

В то же время все компоненты образующих систем должны соответствовать требованиям качества сырья, оборудования, безопасности и качества продукции, информационной совместимости, подчиняться блочно-модульному принципу построения.

Все уровни структурных систем должны содержать информацию о признаках качества элементов системы: функциональные, конструктивные, потребительские. Сложность поставленной проблемы обусловливает необходимость системного подхода, создания и анализа алгоритмов параметрического синтеза и идентификации сложных систем, современных методов математического моделирования [2, 7]. Важной задачей является и разработка информационной базы для создания таких систем.

Большое количество факторов, характеризующих среду, объекты отказов, виды процессоров и операторов в технологическом потоке, режимы процессов, предопределяет необходимость разработки структуры и вида информационной модели технологического блока, последующей разработки и реализации логики синтеза такой модели технологического потока [3], формирования комплектов оборудования, средств и технологических материалов.

Учитывая это, нами была поставлена цель: разработать теоретические основы обеспечения качества функциональных элементов. Идея заключается в установлении закономерностей влияния среды потребительской, сред технологического воздействия и системы отказов на совокупность параметров качества

функциональных модулей, определяющих надёжность пищевых машин и аппаратов, процессов, происходящих в них, а также в синтезе информационных моделей технологических блоков. Такой системный подход к объективному обоснованию методологии обеспечения качества позволит обосновать выбор методов и оборудования технологического воздействия для достижения необходимых показателей качества.

Одним из эффективных путей увеличения обеспечения и сохранения качества является надёжное соблюдение качественных показателей сырья и технологических режимов процессов в технологическом потоке. Требуемое сочетание воздействий, обеспечивающих необходимое качество продукта, в общем виде выражается уравнением [2]:

$$\overline{S}(R, \sigma, \alpha, \beta, \gamma) \cdot \overline{V} = \overline{K} \cdot a,$$

где $\overline{S}$ – вектор-функция, описывающая распределение показателей качества гранулы; R и β - обобщенные показатели микро- и макрогеометрии изделия; σ – обобщенный показатель межчастичной напряженности; α – показатель, характеризующий обобщенные физико-химические свойства сформированных изделий; γ – показатель связи поверхностного слоя изделия (гранулы) и основного тела; $\overline{V}$ – вектор условий эксплуатации; a – множество методов, используемых в совокупном технологическом процессе формования (сборки) изделия (гранулы, брикета и т.п.); $\overline{K}$ – вектор состояния.

Решение задачи о целенаправленном формировании свойств изделия под влиянием внешних воздействий производится посредством рассмотрения и описания взаимодействия его с потоками носителя воздействий, формализуемых вектором состояния. В это методическое описание входит ряд математических моделей, связывающих параметры вектора состояния с изменением качественных характеристик структуры сформованного изделия, как при решении энергетических и структурных задач, так и при описании формуемости влажных дисперсных систем [7, 11]. В частности, рассмотрение энергетических задач проводится с учетом гетерогенности, определяющей наличие поверхностей раздела между отдельными фазами. Поэтому энергетический анализ подводит нас к анализу динамики фазовых изменений в условиях действия мощных потоков энергии, обеспечивая оформление конкретных критериев: шага дорожек перекрытия и взаимопревращений структур (коагуляционная, кристаллизационная, конденсационная).

При стремлении к устойчивому состоянию система – технологический поток "сбрасывает" в окружающую среду ненужный избыток энтропии, тем самым постоянно поддерживая неравновесное термодинамическое и информационное состояние.

Такой подход позволяет создать ряд комбинаций физико-химических и физико-механических процессов и аппаратов (измельчение, смешивание, окатывание, протирка, прессование, сушка, сушка со спутником и т.п.). Применение единого энергетического подхода с использованием обобщенного вектора состояния позволяет прогнозировать оптимальные сочетания внешних воздействий и на их основе создавать параллельно-последовательные комбинированные методы, обеспечивающие улучшение конкретных качественных характеристик.

Образование новых типов структур при формировании дисперсных структур указывает на переход от хаоса и беспорядка к организации и порядку. Эти диссипативные динамические микроструктуры являются прообразами будущих состояний системы, так называемых фракталов, сформировавшихся при различных первичных формообразованиях (слипаниях) нескольких дисперсных частиц, при определённом содержании свободной влаги и давлении около 5 МПа. Большинство фракталов либо разрушаются полностью так и не сформировавшись, либо остаются. В точке бифуркации (точке ветвления) идет своеобразный естественный отбор фрактальных образований. "Выживает" образование, оказавшееся наиболее приспособленным к условиям окружающей среды. В процессе образования этих структур на первой стадии «разборки» сырья и смешивания энтропия возрастает. При неравновесных фазовых переходах, что соответствует точкам бифуркации, через которые проходит процесс самоорганизации, система движется по пути, соответствующему меньшему значению производства энтропии. Значит, чем меньше производство энтропии, тем более организованна система. В этом главный смысл процесса самоорганизации, то есть в создании определенных структур из хаоса неупорядоченного состояния. Открытые системы будто бы структурируют энергию окружающей их среды, причем упорядоченная часть энергии остается внутри системы, а неупорядоченная энергия сбрасывается системой обратно в окружающую среду.

Таким образом, неравновесный термодинамический процесс создает условия для состояния, когда приток энергии извне не только компенсирует (гасит) рост энтропии, но и снижает ее количество.

Так, например, процесс гранулирования инстантированных полидисперсных продуктов в грануляторах показывает, что данный процесс включает в себя пять стадий образования гранул: смешивание, зародышеобразование, рост, уплотнение, разрушение гранул, превысивших предельные размеры. При этом скорость гранулирования полидисперсных материалов существенно сдерживается явлениями зародышеобразования. Образование зародышей зависит от следующих факторов: влажности дисперсной смеси, физико-химических свойств жидкой и твёрдой фаз, режимно-конструкционных параметров гранулятора и наличия гарнисажа.

Методика выбора рационального способа формирования готового полидисперсного продукта основана на последовательном рассмотрении процессов в технологическом потоке согласно трем критериям: применимости, обеспечения требуемого показателя качества и технико-экономической эффективности.

Критерий применимости, или технологический критерий, можно определить как:

$$K_m = f\left(M_д; Ф_д; D_д; И_д; Н_д; \sum_{i=1}^{m} T_i \right),$$

где $M_д$ – материал (рецептура, дисперсность рецептурных составляющих, их физико-химические и физико-механические свойства); $Ф_д, D_д$ – форма и диаметр изделия; $И_д$ – влажность смеси и изделия; $Н_д$ – режимно-конструкционные параметры (диаметр тарели, высота борта, скорость вращения тарели, угол наклона оси тарели, направление вращения, наличие диспергатора и его конструкция, направление и скорость вращения диспергатора, его диаметр, частота и амплитуда осевой вибрации, наличие и свойства гарнисажа, место и угол установки ножа); $\sum_{i=1}^{m} T_i$ – совокупность технологических особенностей данного способа.

Рациональность набора операторов может определяться коэффициентом качества – $К_Д$, в котором только Кв зависит от 26 вышеперечисленных параметров, Ки – от 4 (дисперсность, влажность, плотность, конфигурация частиц и т.д.), Кс – от 9 (вид сушки, температура, влажность начальная и конечная и т.п.) [2, 3, 9]:

$$К_Д = К_и \, К_в \, К_с,$$

где $К_и$, $К_в$, $К_с$ – коэффициенты описывают качество после выхода из смесителя, гранулятора и сушки.

Выбор оптимального варианта перебором этих более чем 1000 сочетаний параметров невозможен без моделирования. Окончательное решение о целесообразности применения выбранного способа принимают по технико-экономическому критерию $С_в$, который связывает стоимость производства с качественными показателями готового продукта (например, при двух вариантах):

$$С_в \geq К_д \, С_н,$$

где $С_в$ – стоимость по варианту 1; $С_н$ – стоимость по варианту 2.

Таким образом, можно предложить схему-алгоритм решения задачи обеспечения требуемых показателей качества, в которой предложена логика построения информационных моделей технологических блоков (ТБ) на базе знания закономерностей взаимодействия трех систем – среда, технологические воздействия, процессы. На первом этапе отсекают незначительные (из литературных источников) показатели; оставляют количество, соответствующее выбранной модели. Например, объект отказа и среда эксплуатации идентифицируются 14 кодами, элементы ТБ – 10–12 кодами, технико-экономические критерии – 3 кодами. Для анализа восьми методов технологического воздействия использованы 104 кода, а всего – 128–130 кодов, определяющих ёмкость идентифицируемой модели в виде виртуального выпуклого многогранника, имеющего 162 грани (3х3х3х6 = 162).

Данные наносятся на грани виртуальных поворотных вокруг трех осей координат конгруэнтных кубов виртуального выпуклого многогранника (рисунок 2), грани которых являются носителями. После этого выполняется селекция и формирование оптимальной совокупности индекс-кодов для решения конкретной задачи в соответствии с установленным алгоритмом и логикой (программой).

Выбор оптимального варианта определяется сравнением технико-экономических критериев и стоимости обработки. Оптимальному показателю соответствует определенное сочетание кодов, элементов ТБ, которому присваивается интегральный код-ярлык, элементам – одинаковый цвет соответствующих граней с кодами. В этом состоит «решение» виртуального выпуклого многогранника – информационной модели технологического блока.

После этого разрабатывается техническое задание на построение оптимального технологического блока с учётом технико-экономических показателей.

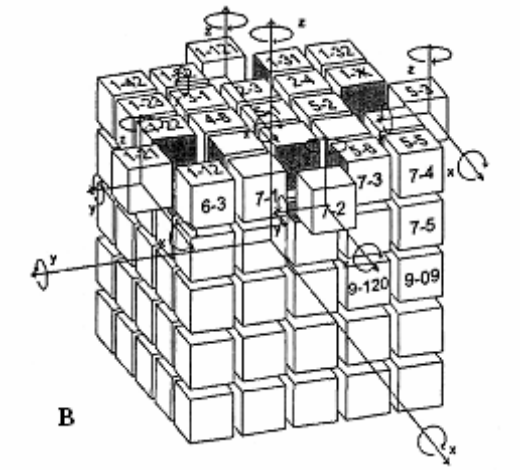


Рисунок 2. Информационная модель технологического блока в виде виртуального выпуклого многогранника

Figure 2. Information model of the technological block as a virtual convex polyhedron

Определение стабильности подсистем и уровня целостности технологической системы осуществлялось по методике академика В.А. Панфилова [4] на примере производства гранулированных продуктов на НПО «Здоровое питание» (г. Кемерово) сравнением и диагностированием действующих технологий и рецептур с вновь создаваемыми [6]. Подбор оборудования, переоборудование его в мехатронные модули за счет применения программируемых контроллеров, установки сенсорных датчиков с обратной связью и частотных регуляторов скоростей электродвигателей, смена в рецептурах структурообразующих и увлажняющих компонентов и подбор технологических параметров процессов позволили сместить уровень целостности технологической системы из области слабоорганизованных, суммативных систем в область высокоорганизованных целостных систем со стабильностью Θ выше 0,9, практически в каждой подсистеме (модуле) технологического потока производства гранулированных многокомпонентных полидисперсных инстантированых напитков и завтраков [2, 6]. Это привело к сокращению штата предприятия, стабильности качества продукта, увеличению производительности, уменьшению себестоимости.

Построение модульного техпроцесса включает следующие основные этапы:

– классификацию технологии сборки полидисперсного продукта по процессам;

– анализ процессов на технологичность;

– выбор технологической последовательности процессов;

– формирование технологического потока;

– проектирование процессов и процессоров;

– диагностирование целостности системы и оценка экономической эффективности.

Проверка адекватности постулированной модели, проведенная по критериям Стьюдента и Фишера, показала практически полную сходимость теоретической модели с полученными практическими данными.

Заключение

Проведенные исследования показали, что накопленный ранее большой теоретический и практический опыт формирования параметров качества полидисперсных продуктов при изготовлении не представлен в виде системы, которая позволяла бы объективно выбирать технологические воздействия, средства, материалы и режимы для достижения конкретных качественных параметров с учётом среды эксплуатации и характера работы оборудования на этапе проектирования всего комплекса. Большое количество факторов, характеризующих процесс формирования полидисперсных пищеконцентратов, предопределяет необходимость разработки структуры и вида информационной модели технологического блока, последующей разработки и реализации логики синтеза такой модели формирования комплектов оборудования, средств и технологических материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1 Антипов С.Т., Панфилов В.А., Ураков О.А., Шахов С.В. Системное развитие техники пищевых технологий; под ред. акад. РАСХН В.А. Панфилова. М.: Колос С, 2010. 762 с.

2 Майтаков А.Л. Моделирование и многокритериальный синтез производства гранулированных пищеконцентратов. Кемерово, 2017. 223 с.

3 Лотов В.А., Гурин В.В., Попов А.М. Основы управления процессами структурообразования во влажных дисперсных системах. Кемерово; М.: Издательское объединение «Российские университеты»: Кузбассвузиздат – АСТШ, 2006. 295 с

4 Панфилов В.А., Попов А.М. Системные закономерности сложных объектов и принципы их использования при проектировании технико-технологических комплексов // Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья. 2005. № 10. С. 58–59.

5 Maytakov A.L., Yusupov Sh.T., Popov A.M., Kravchenko S.N. et al. Study of the process of concentration as a factor of product quality formation // Foods and Raw Materials, 2018. V. 6. № 1. P. 172–182.

6 Позняковский В.М., Резниченко И.Ю. Камбаров А.О., Попов А.М. Экспертиза пищевых концентратов. Качество и безопасность. Москва, ИНФРА-М. 2015. 270 с.

7 Попов А.М. Анализ и синтез технологий гранулированных концентратов напитков. Кемерово, 2003. 245 с.

8 Ahmednaa M, Marshallb W.E., Rao R.M. Surface properties of granular activated carbons from agricultural by – products and their effects on raw sugar decolorization // Bioresource Technology. 2000. V. 71. № 2. P. 103–112.

9 Гуцуляк А.В., Тришкин А.Р., Бурмага А.В. Разработка технологии производства гранулированного пищевого продукта на основе соевых злаков и тыквенных компонентов // сборник III Международного интеллектуального конкурса студентов, магистрантов, аспирантов, докторантов. Москва: Русальянс «Сова», 2018. С. 50–55.

10 Leuenberge H. New trends in the production of pharmaceutical granules: batch versus continuous processing // European journal of pharmaceutics and biopharmaceutics. 2001. V. 52. № 3. P. 289–296.

11 Vervaet C., Remon J.P. Continuous granulation in the pharmaceutical industry // Chemical Engineering Science. 2005. V. 60. № 14. P. 3949–3957.

REFERENCES

1 Antipov S.T., Panfilov V.A., Urakov O.A., SHahov S.V. Sistemnoe razvitie tekhniki pishchevyh tekhnologij [System development of food technology]. Moscow, Kolos S, 2010. 762 p. (in Russian).

2 Maitakov A.L. Modelirovanie i mnogokriterial'nyj sintez proizvodstva granulirovannyh pishchekoncentratov [Modeling and multi-criteria synthesis of granulated food concentrates production]. Kemerovo, 2017. 223 p. (in Russian).

3 Lotov V.A., Gurin V.V., Popov A.M. Osnovy upravleniya processami strukturoobrazovaniya vo vlazhnyh dispersnyh sistemah [Fundamentals of management of structure formation processes in wet disperse systems]. Kemerovo; Moscow, Publishing Association "Russian Universities": Kuzbassvuzizdat – ASTSH, 2006. 295 p. (in Russian).

4 Panfilov V.A., Popov A.M. System regularities of complex objects and the principles of their use in the design of technological complexes. *Hranenie i pererabotka sel'skohozyajstvennogo syr'ya* [Storage and processing of agricultural raw materials]. 2005. no. 10. pp. 58–59. (in Russian).

5 Maytakov A.L., Yusupov Sh.T., Popov A.M., Kravchenko S.N. et al. Study of the process of concentration as a factor of product quality formation. Foods and Raw Materials. 2018. vol. 6. no. 1. pp. 172–182.

6 Poznyakovsky V.M., Reznichenko I.Yu., Kambarov A.O., Popov A.M. Ehkspertiza pishchevyh koncentratov. Kachestvo i bezopasnost' [Expertise of food concentrates. Quality and safety]. Moscow, INFRA-M. 2015. 270 p. (in Russian).

7 Popov A.M. Analiz i sintez tekhnologij granulirovannyh koncentratov napitkov [Analysis and synthesis of technologies of granulated beverage concentrates]. Kemerovo, 2003. 245 p. (in Russian).

8 Ahmednaa M, Marshallb W.E., Rao R.M. Surface properties of granular activated carbons from agricultural by – products and their effects on raw sugar decolorization. Bioresource Technology. 2000. vol. 71. no. 2. pp. 103–112.

9 Gutsulyak, A.V., Trishkin, A.R., Burmaga, A.V. Development of technology for the production of granulated food product based on soybean-cereals and pumpkin components. *Sbornik III Mezhdunarodnogo intellektual'nogo konkursa studentov, magistrantov, aspirantov, doktorantov* [Collection of III International intellectual competition of students, undergraduates, post-graduate students, doctoral students]. Moscow, Rusalyans "Owl", 2018. pp. 50–55. (in Russian).

10 Leuenberge H. New trends in the production of pharmaceutical granules: batch versus continuous processing. European journal of pharmaceutics and biopharmaceutics. 2001. vol. 52. no. 3. pp. 289–296.

11 Vervaet C., Remon J.P. Continuous granulation in the pharmaceutical industry. Chemical Engineering Science. 2005. vol. 60. no. 14. pp. 3949–3957.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Анатолий Л. Майтаков к.т.н., доцент, заведующий кафедрой автоматизации производственных процессов и автоматизированных систем управления, Кемеровский государственный университет , ул. Красная, 6, г Кемерово, 650000, Россия, may585417@mail.ru

Анатолий М. Попов д.х.н., профессор, заведующий кафедрой машин и аппаратов технологических систем, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г Кемерово, 650000, Россия, popov4116@yandex.ru

Надежда Т. Ветрова к.т.н., доцент, кафедра автоматизации производственных процессов и автоматизированных систем управления, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г Кемерово, 650000, Россия

Лилия Н. Берязева к.т.н., доцент, кафедра автоматизации производственных процессов и автоматизированных систем управления, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г Кемерово, 650000, Россия

Мария А. Зверикова аспирант, кафедра машин и аппаратов технологических систем, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г Кемерово, 650000, Россия

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 23.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 06.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Anatoly L. Maytakov Cand. Sci. (Engin.), head of the department automation of production processes and automated control systems, Kemerovo State University, Krasnaya Str. 6, Kemerovo, 650000 Russia, may585417@mail.ru

Anatoly M. Popov Dr. Sci. (Chem.), professor, head of the department machines and devices of technological systems, Kemerovo State University, Krasnaya Str. 6, Kemerovo, 650000 Russia, popov4116@yandex.ru

Nadezhda T. Vetrova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, automation of production processes and automated control systems department, Kemerovo State University, Krasnaya Str. 6, Kemerovo, 650000 Russia

Lilia N. Beryazeva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, automation of production processes and automated control systems department, Kemerovo State University, Krasnaya Str. 6, Kemerovo, 650000 Russia

Marya A. Zverikova graduate student, machines and devices of technological systems department, Kemerovo State University, Krasnaya Str. 6, Kemerovo, 650000 Russia

CONTRIBUTION

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.23.2018

ACCEPTED 11.6.2018

Информационные технологии, моделирование и управление

Оригинальная статья/Original article

УДК 532

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-69-74

Программная реализация кинематического и силового расчета четырехтактного двигателя

Виталий Н. Василенко [1] vvn_1977@mail.ru
Александр С. Сидоренко [2] sas1.vrn@mail.ru
Антон Н. Веретенников [2] anton-v-v@yandex.ru
Алексей В. Ярыгин [2]

[1] Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
[2] Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военная воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», ул. Старых Большевиков, 54 а, г. Воронеж, 394064, Россия

Аннотация. Выполнена разработка алгоритма и программного обеспечения для автоматизации кинематических и силовых расчетов кривошипно-ползунного механизма (КПМ). Программа позволяет в автоматическом режиме после ввода исходных данных наглядно продемонстрировать на экране дисплея работу КПМ, получить изображения векторных определяемых кинематических и динамических параметров, привязанных к заданному положению механизма, и считать с экрана модули и величины, определяющие направления рассчитанных параметров. Особое внимание при разработке программного обеспечения было уделено удобству и облегчению работы с компьютером с учетом сравнительно невысокого уровня подготовленности основной массы обучаемых к выполнению таких действий на ЭВМ. С целью обеспечения этого предусмотрен диалоговый режим ввода исходных данных. Этому же способствует унификация исходной схемы КПМ. Такой подход потребовал дополнительного согласования сравниваемых результатов с учетом пространственного расположения рассчитываемой части механизма, заданной системы отсчета углового положения и направления вращения кривошипа. Разработанная программа имеет следующие варианты применения: демонстрационный, тренировочный, проверочный и анализирующий. Демонстрационный вариант используется в случаях необходимости наглядного уяснения кинематического взаимодействия между звеньями механизма и рассмотрения особенностей движения звеньев и точек КПМ. Возможности тренировочного режима определяются при анализе особенностей и видов движения отдельных звеньев и характерных точек рассматриваемого механизма и его аналогов, возникающих при изменении одного или нескольких параметров. При использовании проверочного варианта имеется возможность надежного контроля выполненных расчетов и полученных результатов. В анализирующем варианте предполагается, с одной стороны, проанализировать характер качественного и количественного изменения интересующих нас параметров на отельных сопряженных участках работы механизма, а с другой – проследить изменение соответствующих кинематических и силовых параметров в зависимости от принятых исходных данных и положения механизма.

Ключевые слова: программа, математическая модель, кинематический расчёт, силовой расчет, четырехтактный двигатель

Program realization of the kinematic and power calculation of a four-stroke engine

Vitalii N. Vasilenko [1] vvn_1977@mail.ru
Aleksandr S. Sidorenko [2] sas1.vrn@mail.ru
Anton N. Veretennikov [2] anton-v-v@yandex.ru
Aleksey V. Yarygin [2]

[1] Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
[2] Russian Air Force Military Educational and Scientific Center "Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin", Starykh Bolshevikov St., 54a, Voronezh, 394064, Russia

Abstract. The development of the algorithm and software for the automation of kinematic and force calculations of the crank-slider mechanism (KPM). The program allows you to automatically demonstrate the operation of the PMC on the display screen after entering the initial data, obtain images of the vector defined kinematic and dynamic parameters associated with a given position of the mechanism, and read the modules and values determining the directions of the calculated parameters from the screen. Special attention in the development of software was paid to the convenience and ease of working with a computer, taking into account the relatively low level of readiness of the majority of students to perform such actions on a computer. In order to ensure this, an interactive input mode is provided. The unification of the original KPM scheme also contributes to this. Such an approach required additional agreement of the compared results, taking into account the spatial location of the calculated part of the mechanism, given the reference system of the angular position and direction of rotation of the crank. The developed program has the following applications: demo, training, testing and analyzing. The demonstration option is used in cases where it is necessary to clearly understand the kinematic interaction between the links of the mechanism and to consider the peculiarities of movement of the links and points of the PMC. The capabilities of the training mode are determined by analyzing the characteristics and types of movement of individual units and characteristic points of the mechanism under consideration and its analogues that arise when one or more parameters change. When using the verification option, it is possible to reliably monitor the calculations performed and the results obtained. In the analyzing variant, it is assumed, on the one hand, to analyze the nature of the qualitative and quantitative changes in the parameters of interest to us in the individual conjugate parts of the mechanism, and on the other, to trace the change in the corresponding kinematic and force parameters depending on the initial data and the position of the mechanism.

Keywords: program, mathematical model, kinematic calculation, force calculation, four stroke engine

Для цитирования

Василенко В.Н., Сидоренко А.С., Веретенников А.Н., Ярыгин А.В. Программная реализация кинематического и силового расчета четырехтактного двигателя // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 69–74. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-69-74

For citation

Vasilenko V.N., Sidorenko A.S., Veretennikov A.N., Yarygin A.V. Program realization of the kinematic and power calculation of a four-stroke engine. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 69–74. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-69-74

Введение

Программа предусматривает проведение комплексного кинематического и силового исследования одно- или двухцилиндровых кривошипно-ползунных механизмов (КПМ) двигателей внутреннего сгорания [1, 2]. Ограничение числа цилиндров связано со стремлением к уменьшению объемов однотипных расчетов для получения приемлемого соотношения с располагаемым временем выполнения работы.

В результате выполнения силового расчета определяются усилия, действующие на звенья кривошипно-ползунного механизма двигателя, находятся реакции связей каждого из звеньев и вычисляется уравновешивающий момент, который прикладывается к коленчатому валу двигателя со стороны трансмиссии и обеспечивает выполнение условий равновесия двигателя. Данные, полученные в рамках силового расчета, в дальнейшем необходимы для уточнения кинематического и силового расчетов при выполнении аналогичных расчетов по следующим приближениям, проведении дальнейших расчетов на прочность, жесткость, износостойкость, для анализа колебательных процессов и многого другого [3–11].

Программа позволяет в автоматическом режиме после ввода исходных данных наглядно продемонстрировать на экране дисплея работу КПМ, получить изображения векторных определяемых кинематических и динамических параметров, привязанных к заданному положению механизма, и считать с экрана модули и величины, определяющие направления рассчитанных параметров.

Описание программы

Постановка задачи. Кинематический и силовой анализ КПМ четырехтактного двухцилиндрового двигателя внутреннего сгорания. При этом рассчитываются линейные и угловые ускорения звеньев КПМ, определяются действующие на них усилия и уравновешивающий момент.

Цель исследования – визуализировать работу КПМ и траектории движения характерных его точек, автоматизировать расчет линейных и угловых скоростей и ускорений звеньев КПМ и уравновешивающего момента. Разработать программу в среде Turbo-Pascal для работы в любой системной среде.

Алгоритм программы. Для кинематического и силового анализа КПМ выполняются исследования характера движения заданных точек механизма (шарниров B и E, соединяющих шатуны и поршни цилиндра и центры масс C и D шатунов). С этой целью в рамках первого этапа программирования составлены уравнения движения этих точек, определены их скорости и ускорения, рассчитан радиус кривизны траектории центра масс шатуна C.

На втором этапе исследуются кинематические параметры движения звеньев механизма и их характерных точек с целью получения исходных данных для силового анализа, предусмотренного к выполнению в третьем этапе.

В итоге работы определяются реакции во всех соединениях звеньев механизма и уравновешивающий момент, приложенный к кривошипу в рассматриваемом положении.

Краткое описание программы. Программа, рассчитывающая механизмы ДВС, состоит из 9 частей.

1. Графическими утилитами выводится титульный лист (заставка) программы; описываются переменные и константы, непосредственно участвующие в решении задачи.

2. Ввод данных. Параметры, необходимые для расчетов вводятся пользователем с клавиатуры, при этом необходимо соблюдать единицы измерения величин. Ввод данных:

- радиус кривошипа;
- длина шатуна;
- угловое положение кривошипа;
- масса шатуна;
- масса поршня;
- радиус инерции шатуна;
- максимальное давление в цилиндре;
- частота вращения;
- диаметр цилиндра;
- относительное положение центра масс шатуна.

Линейные размеры вводятся в мм; масса поршня в кг; угловое положение кривошипа в градусах; радиус инерции шатуна в *м*; максимальное давление в цилиндре в Н/мм; частота вращения в об/мин; относительное положение центра масс шатуна – безразмерная величина принимает значения от 0,0 до 0,5.

1. Наглядное представление цикла работы ДВС представлено в режиме анимации.

2. Исследование движения точек механизма ДВС. Составлены уравнения движения заданных исследуемых точек с последующим определением по ним векторов скоростей и ускорений, радиуса кривизны траектории движения центра тяжести шатуна в соответствующий заданному положению механизма момент времени.

3. Кинематическое исследование звеньев механизма. Отыскиваются кинематические параметры, определяющие движение каждого из звеньев механизма и характерных их точек, необходимых для перехода к третьему этапу (силовому расчету механизмов).

4. Силовой расчет кривошипно-ползунного механизма ДВС. Рассчитывается и оценивается величина внешних и инерционных сил и моментов, прикладываемых к подвижным звеньям рассматриваемого механизма при его работе в заданном режиме и положении.

Вычисляются внешние и внутренние реакции, которые действуют на каждые из подвижных звеньев со стороны сопряженных с ними элементов.

Определяется уравновешивающий момент, который, с одной стороны, необходим для обеспечения равновесия механизма ДВС в рассматриваемом положении, а с другой – показывает момент, передаваемый на трансмиссию.

5. Вывод данных. На экран выводятся полученные значения искомых величин. При этом для каждого этапа свои значения выводятся отдельно.

6. На экран выводится диаграмма перемещения поршня.

7. На экран выводится циклограмма работы ДВС.

Для повышения информативности и обеспечения возможностей тестовых проверок была проведена разработка алгоритма и программного обеспечения для автоматизации кинематических и силовых расчетов КПМ. Листинг разработанной и отлаженной программы приведен ниже[1].

```
Program КПМ;
Uses Crt, Graph;
var Driver, k, il, I, mj, x8, y8, X9,
Y9, g, x, xl, xl l, y, yl, Mode: in-
teger;
var C, S, C3, S3, fl, rl, lr, r2,12,
II, w, mq, Vx, Vy, Vc, Wx, Wy, Wc,
Wt, Wn, Rcp, Av, Aw, A2, Vb, Va, Vcl,
a, b, d, VV 1, Ps,
Av1, Be, q: real; var h, w2, Wnl,
Wtl, Wal, Wcl, Wcy, Wox, Wtc, Wnc,
Wb, E, Awl, F2i, G2, G5, F3i, M2i,
R12t, R03,
R12n Д12, My2, R01x, ROly, Myp, RO 1,
A 1: real; var Mp, Ms, Es, Pl, Iks,
o, Pm, dl, M2, M3, i2: real; var r,
f, l, n: integer; type rx=ar-
ray[0..360] of real; var Ym, Xm: rx;
label sot, sat, sun; const gl=9.81;
r3=100; l3=250; var st:string;
begin
_
_
_
{Ввод данных}
Writeln ('Введите данные:');
write (' радиус кривошипа: '); readln
(r);
write (' длина шатуна: '); readln(l);
sun; write (' угловое положение кри-
вошипа:'); readln(i);
if (f<0) or (f>720) then goto sun;
write (' масса шатуна:'); readln(M2);
write (' масса поршня: ');
readln(M3);
write (' радиус инерци ишатуна: ');
readln(I2);
wtite (' максимальное давление в ци-
линдре; '); readln(Pm);
write (' частота вращения:');
readln(n);
write (' диаметр цилиндра:');
readln(dl);
sat: writeln (' относительное положе-
ние ');
write (' центра масс шатуна: ');
readln(o);
if (o<0) or (o>l) then goto sat;
fl:=pi*f/180; rl:=r/l000; 11:=l/l000,
C:=r*cos(fi)/l000; S:=r*sin(f
1)/1000.
_
_
_
{Расчеты}
w:= pi*n/30;
Vx:= – s*w-o*(rl*rl»
w*sin(2*fl)/(2*sl(I)));
Vy:= (l-o)*c*w;
Vc:=sqrl(Vx*Vx+Vy*Vy);
Wx:= – c*w» w-o*rl *rl
*w*w*((cos(2*n)/wt((l I *11 –
w*w))+(rl *rl *sqr (sin(24)))/
(4*sqrt (sqr(II *II – s*s)*(II *II –
s*s)))));
Wy:= -(l-o)*s*w*w;
Wc:=sqrt(Wx*Wx+Wy*Wy);
Wt:= (Wx*Vx+Wy*Vy) A*c;
Wn:=sqrt(Wc*Wc-Wt*Wt);
Rcp:=Vc*Vc/Wn*1000;
If Vx>0 then Av:=
arctan((l/Vx)*sqrt(Vc*Vc-Vx*Vx))*
IH0/pi
else Av:=
180+arctan((IA*x)*sqrt(Vc*Vc-
Vx*Vx))*l(t0)/pl.
If Vy>0 then Av:=Av else Av:=-Av+360;
lf Wx≥0 then
Aw:=arctan((l/Wx)*sqrt(Wc*Wc-
Wx*Wx))*IK/pi
else Aw:=
180+arctan((l/Wx)*sqrt(Wc*Wc-
Wx*Wx))*IRO/pi.
If Wy≥O then Aw* Aw else Aw:=-Aw+160;
{Graph Mode}
C3:=r3*cos(fi); S3:= r3 * in(fi);
Driver:=Delect;
```

[1] Полный текст программы приведен на сайте журнала в разделе дополнительные материалы статьи. URL: www.vestnik-vsuet.ru

```
InitGraph (Driver, Mixle,"),
SetTextStyle(0,0, l);
SetBkColor (1);
SetColor (10);
For l:=0to720<l do for j:=O to 10 do
lr:=l*pi/180;
C3:=r3*cos(lr).
-
-
-
Driver:=Detect;
InitGraph (Driver, Mode,");
SetBkColor (1);
Line (80,100,540,100);
Line (80,150,540,150);
OutTextXY (87,110, положение');
OutTextXY(87,130,'кривошипа в
град.');
OutTextXY (87,160,'Такты рабочего');
OutTextXY (87,180,' цикла цилиндра');
OutTextXY (210,80,'ЦИКЛОГРАММА РАБОТЫ
ДВИ');
OutTextXY (263,175,'ГА');
OutTextXY (339,175,'ТЕ');
OutTextXY (416,175,'ЛЯ.');
OutTextXY (493,175,'Н.');
OutTextXY (235,141,'О');
OutTextXY (297,141,'180');
OutTextXY (374,141,'360');
OutTextXY (451,141,'540');
OutTextXY (516,141,720');
Line (80,200,540,200);
Line (80,100,80,200);
Line (540,100,540,200);
Line (232,100,232,200); for i:=l to 3
do begin
Line (232+round(i*77),
150,232+round(i*77), 200); end;
str(f, st);
SetColor (13); for i:=0 to 6 do begin
h:=i*14;
Line (232+round(308/720*f),
round(104+h), 232+round(Um/7*((M), KM
t +round(((i+l)*7+74)));
end;
OutTextXY (234+round(308/720*f),
107,'f=');
OutTextXY (252+round(308/720*0,107,
st); readIn;
CloseGraph;
end.
```

Особое внимание при разработке программного обеспечения было уделено удобству и облегчению работы с компьютером с учетом сравнительно невысокого уровня подготовленности основной массы обучаемых к выполнению таких действий на ЭВМ. С целью обеспечения этого предусмотрен диалоговый режим ввода исходных данных.

Заключение

Разработанный алгоритм кинематического и силового анализа и его программная реализация позволяют после введения минимально необходимого числа исходных данных в автоматизированном режиме:

– продемонстрировать кинематическое и силовое взаимодействие в анимационном режиме между звеньями КПМ ДВС;

– наблюдать на экране дисплея траекторию движения любой характерной точки механизма;

– за короткий промежуток времени получить значения кинематических и силовых параметров, определяющих кинематическое и силовое взаимодействие между звеньями КПМ в указанном положении.

В результате имеем следующие варианты применения разработанной программы:

— демонстрационный;
— тренировочный;
— проверочный;
— анализирующий.

Демонстрационный вариант используется в случае необходимости наглядного уяснения кинематического взаимодействия между звеньями механизма и рассмотрения особенностей движения звеньев и точек КПМ.

Возможности тренировочного режима определяются при анализе особенностей и видов движения отдельных звеньев и характерных точек рассматриваемого механизма и его аналогов, возникающих при изменении одного или нескольких параметров.

При использовании проверочного варианта есть возможность надежного контроля выполненных расчетов и полученных результатов как на отдельных этапах работы, так и итоговых результатов.

В четвертом анализирующем варианте имеем возможности, с одной стороны, проанализировать характер качественного и количественного изменения интересующих нас параметров на отдельных сопряженных участках работы механизма, а с другой – проследить изменение соответствующих кинематических и силовых параметров в зависимости от принятых исходных данных и положения механизма.

Полученное программное обеспечение может быть использовано для подготовки инженеров по направлениям 23.05.02 – «Транспортные средства специального назначения» и 16.05.01 – «Специальные системы жизнеобеспечения» при изучении дисциплин «Теория машин и механизмов», «Детали машин и основы конструирования».

ЛИТЕРАТУРА

1 Сидоренко А.С., Потапов А.И. Математическая модель кинетостатического расчета плоских рычажных механизмов // Вестник ВГУИТ. 2016. № 1. С. 70–78.

2 Васечкин М.А., Матвеева Е.В., Сидоренко А.С., Чертов Е.Д. Программная реализация математической модели кинетостатического расчета плоских рычажных механизмов // Вестник ВГУИТ. 2016. № 4. С. 85–89.

3 Кун С., Госселин К. Структурный синтез параллельных механизмов. М.: Физматлит, 2012. 276 с.

4 Каганов Ю.Т., Хейло С.В., Глазунов В.А. Параллельные механизмы – новое направление в машиноведении // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. 2014. № 2–1. С. 52–56.

5 Le Xyan Ann. Dynamics of Mechanical Systems with Coulomb Friction (Foundations of engineering mechanics). Berlin: Springer, 2011. 272 p.

6 Nosonovsky M. Friction-Induced Vibrations and Self-Organization Mechanics. Oxford University Press, 2013. 244 p.

7 Vinu K.S., Ghosal A. Singularity Analysis of Closed-loop Mechanisms and Parallel Manipulators // 15-th National Conference on Machines and Mechanisms. 2011. P. 1–9.

8 Blanc D., Shvalb N. Generic singular configurations of linkages // Topology and applications. 2012. V. 159. № 3. P. 877–890.

9 Taghavifar H., Mardani A. Off-road vehicle dynamics. Springer, 2017. 183 p.

10 Jin Y., Luo X. Stochastic optimal active control of a half-car nonlinear suspension under random road excitation // Nonlinear Dynamics. 2013. V. 72. № 1. P. 185–195. doi: 10.1007/s11071–012–0702-x.

11 Calim F.F. Dynamic analysis of composite coil springs of arbitrary shape // Composites: Part B. 2009. № 40. P. 741–757. doi: 10.1016/j.compositesb.2009.04.017.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Виталий Н. Василенко д.т.н., профессор, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vvn_1977@mail.ru

Александр С. Сидоренко к.т.н., доцент, кафедра общепрофессиональных дисциплин, Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военная воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», ул. Старых Большевиков, 54а, г. Воронеж, 394064, Россия, sas1.vrn@mail.ru

Антон Н. Веретенников к.т.н., доцент, кафедра общепрофессиональных дисциплин, Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военная воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», ул. Старых Большевиков, 54 а, г. Воронеж, 394064, Россия, anton-v-v@yandex.ru

Алексей В. Ярыгин курсант, Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военная воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», ул. Старых Большевиков, 54 а, г. Воронеж, 394064, Россия

REFERENCES

1 Sidorenko A.S., Potapov A.I. Mathematical model of kinetostatithic calculation of flat lever mechanisms. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2016. no. 1. pp. 70–78. (in Russian).

2 Vasechkin M.A., Matveeva E.V., Sidorenko A.S., Chertov E.D. Program realization of mathematical model of kinetostatical calculation of flat lever mechanisms. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2016. no. 4. pp. 85–89. (in Russian).

3 Kuhn S., Gosselin C. Strukturnyj sintez parallel'nyh mekhanizmov [Structural synthesis of parallel mechanisms]. Moscow, Fizmatlit, 2012. 276 p. (in Russian).

4 Kaganov Yu.T., Heylo S.V., Glazunov V.A. Parallel mechanisms – a new direction in engineering. *Teoreticheskie i prikladnye aspekty sovremennoj nauki* [Theoretical and applied aspects of modern science]. 2014. no. 2–1. pp. 52–56. (in Russian).

5 Le Xyan Ann, Dynamics of mechanical systems with Coulomb friction. (Foundations of mechanics). Berlin, Springer, 2011 p. 272.

6 Nosonovsky M. Friction-Induced vibrations and self-organization mechanics. Oxford University Press, 2013. 244 p.

7 Vinu K.S., Ghosal A. Singularity Analysis of Closed-loop Mechanisms and Parallel Manipulators. 15 th National Conference on Machines and Mechanisms. 2011. pp. 1–9.

8 Blanc D., Shvalb N. Generic singular configurations of linkages. Topology and applications. 2012. vol. 159. no. 3. pp. 877–890.

9 Taghavifar H., Mardani A. Off-road vehicle dynamics. Springer, 2017. 183 p.

10 Jin Y., Luo X. Stochastic optimal active control of a half-car nonlinear suspension under random road excitation. Nonlinear Dynamics. 2013. vol. 72. no. 1. pp. 185–195. doi: 10.1007/s11071–012–0702 x.

11 Calim F.F. Dynamic analysis of composite coil springs of arbitrary shape. Composites: Part B. 2009. no. 40. pp. 741–757. doi: 10.1016/j.compositesb.2009.04.017.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Vitalii N. Vasilenko Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of fats, processes and devices of chemical and foods productions department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vvn_1977@mail.ru

Aleksandr S. Sidorenko Cand. Sci. (Engin.), associate professor, department of all-professional disciplines, Russian Air Force Military Educational and Scientific Center “Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin”, Starykh Bolshevikov St., 54a, Voronezh, Russia, sas1.vrn@mail.ru

Anton N. Veretennikov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, department of all-professional disciplines, Russian Air Force Military Educational and Scientific Center “Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin”, Starykh Bolshevikov St., 54a, Voronezh, Russia, anton-v-v@yandex.ru

Aleksey V. Yarygin cadet, Russian Air Force Military Educational and Scientific Center “Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin”, Starykh Bolshevikov St., 54a, Voronezh, Russia

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Виталий Н. Василенко предложил тематику исследований, осуществлял консультацию и руководство коллективом авторов

Александр С. Сидоренко составил описание математической модели кинематики и силового расчета четырехтактного V-образного двигателя, разработал программное обеспечение по реализации математической модели кинематического и силового расчета четырехтактного двигателя, написал рукопись, несёт ответственность за плагиат

Антон Н. Веретенников выполнил отладку программы для анализа кинематики и силового расчета примера механизма, провёл сравнительный анализ результата компьютерного расчёта с результатом расчётов, полученных графоаналитическим методом, выполнил корректировку и подачу рукописи в редакцию

Алексей В. Ярыгин провёл аналитический обзор информационных источников по исследуемой проблеме, предложил алгоритм программной реализации математической модели кинематического и силового расчета четырехтактного двигателя

CONTRIBUTION

Vitalii N. Vasilenko has offered scope of researches, carried out consultation and the management of group of authors

Aleksandr S. Sidorenko compiled a description of the mathematical model of kinematics and power calculation of a four-stroke V-engine, developed software for implementing the mathematical model of kinematic and power calculation of a four-stroke engine, wrote the manuscript, is responsible for plagiarism

Anton N. Veretennikov performed debugging of a program for analyzing kinematics and force calculation of an example of a mechanism, carried out a comparative analysis of the result of computer calculation with the result of calculations obtained by the grapho-analytical method, performed an adjustment and submission of the manuscript to the editor

Aleksey V. Yarygin conducted an analytical review of information sources on the studied problem, proposed an algorithm for the software implementation of a mathematical model of kinematic and power calculation of a four-stroke engine

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

ПОСТУПИЛА 01.10.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 16.11.2018

RECEIVED 10.1.2018

ACCEPTED 11.16.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 691.175: 62-977

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-75-79

Малоцикловая усталость сварных конструкций, изготовленных из отечественных и импортных материалов

Максим А. Васечкин [1] vmax77@mail.ru
Сергей В. Егоров [2] akvapaskal@mail.ru
Александр Б. Коломенский [2] kolomenskii_alek@inbox.ru
Евгений Д. Чертов [1] ched@vsuet.ru

[1] Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
[2] Воронежский государственный технический университет, Московский проспект, 14, г. Воронеж, 394026, Россия

Аннотация. В различных отраслях современного машиностроения в качестве конструкционных материалов широко используют коррозионно-стойкие стали и титановые сплавы. При этом возможно соединение деталей из отечественных и импортных сплавов при помощи автоматической аргонодуговой электросварки, что приводит к образованию в сварном шве материала с неизученными свойствами. Сварные соединения являются концентраторами напряжений и в настоящее время отсутствуют сведения о малоцикловой усталости сварных соединений, полученных сплавлением отечественных и импортных материалов. В ходе проведенных исследований отработаны режимы сварки и термообработки стыковых сварных соединений, полученных из листовых титановых сплавов и коррозионно-стойких сталей отечественного и импортного производства. Проведены ресурсные испытания на малоцикловую усталость опытных образцов сварных соединений. Испытания на малоцикловую усталость проводили на модернизированной испытательной машине УММ-10 при повторно-статическом растяжении с коэффициентом асимметрии +0,1 и при частоте 0,6–0,8 Гц. Максимальное растягивающее напряжение составляло 80% от временного сопротивления разрыву наименее прочного сплава в паре. Ось главных напряжений от внешнего нагружения во всех случаях была перпендикулярна сварному шву. Испытания проводили до разрушения образца. В результате исследований установлено, что все сварные соединения разрушались по линии сплавления, что объясняется одновременным действием геометрических и структурных концентраторов напряжений. При этом разрушение образцов, как правило, начиналось около шва со стороны наименее прочного сплава в паре. Так же установлено, что применение температур неполного отжига в сравнении с полным позволяет повысить циклическую долговечность для сварных соединений титановых сплавов в 1,3–2 раза. Из результатов сравнительных испытаний образцов из коррозионно-стойких сталей следует, что отечественная и импортная стали, а также их сварные соединения, обладают близкими свойствами – как по прочности, так и по повторно-статической долговечности.

Ключевые слова: сварные соединения, усталостная прочность, титановые сплавы, коррозионностойкие стали

Low-cycle fatigue of welded structures made from domestic and imported materials

Maxim A. Vasechkin [1] vmax77@mail.ru
Sergey V. Egorov [2] akvapaskal@mail.ru
Alexandr B. Kolomensky [2] kolomenskii_alek@inbox.ru
Evgenii D. Chertov [1] ched@vsuet.ru

[1] Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia
[2] Voronezh state technical university, Moskovsky Avenue, 14, Voronezh, 394026, Russia

Abstract. In various branches of modern engineering, corrosion-resistant steels and titanium alloys are widely used as structural materials. At the same time, it is possible to connect parts made from domestic and imported alloys using automatic argon-arc electric welding, which leads to the formation of a material with unexplored properties in the weld. Welded joints are stress concentrators and currently there is no information about low-cycle fatigue of welded joints obtained by fusing domestic and imported materials. In the course of the research, the modes of welding and heat treatment of butt welded joints obtained from sheet titanium alloys and corrosion-resistant steel of domestic and foreign production have been developed. Resource tests for low-cycle fatigue of samples of welded joints were carried out. Tests on low-cycle fatigue were carried out on the upgraded testing machine UMM-10 with repeated static stretching with an asymmetry factor of +0.1 and at a frequency of 0.6–0.8 Hz. The maximum tensile stress was 80% of the temporary tensile strength of the weakest alloy in the pair. The main stress axis from external loading in all cases was perpendicular to the weld. The tests were carried out until the destruction of the sample. As a result of research, it was established that all welded joints were destroyed along the fusion line, which is explained by the simultaneous action of geometric and structural stress concentrators. In this case, the destruction of the samples, as a rule, began near the seam from the side of the weakest alloy in the pair. It was also established that the use of temperatures of incomplete annealing in comparison with the full one allows to increase the cyclic durability for welded joints of titanium alloys by 1.3–2 times. From the results of comparative tests of samples of corrosion-resistant steels, it follows that domestic and imported steels, as well as their welded joints, have similar properties, both in strength and in re-static durability.

Keywords: welded joints, fatigue strength, titanium alloys, corrosion-resistant steel

Для цитирования
Васечкин М.А., Егоров С.В., Коломенский А.Б., Чертов Е.Д. Малоцикловая усталость сварных конструкций, изготовленных из отечественных и импортных материалов // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 75–79. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-75-79

For citation
Vasechkin M.A., Egorov S.V., Kolomensky A.B., Chertov E.D. Low-cycle fatigue of welded structures made from domestic and imported materials. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 75–79. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-75-79

Введение

В различных отраслях современного машиностроения в качестве конструкционных материалов широко используют коррозионно-стойкие стали и титановые сплавы. В частности, в конструкцию трубопроводов современных изделий авиационной техники заложены унифицированные элементы, материалами которых являются импортные титановые сплавы и коррозионно-стойкие стали. В то же время прямолинейные участки трубопроводных коммуникаций изготавливают из отечественных сплавов и сталей. В настоящее время установлены следующие возможные пары сочетаний разнородных отечественных и импортных титановых сплавов и коррозионно-стойких сталей при сборке трубопроводов в трассу [1–3]:

ОТ4 + Ti-6Al-4V;
ВТ1 – 0 + Ti-6Al-4V;
ПТ-7М + Ti-6Al-4V;
ОТ4 + Т40;
ВТ1 – 0 + Т40;
ПТ-7М + Т40;
сталь 12х18Н10Т + сталь AISI 321.

При соединении кольцевых стыков труб из отечественных и импортных сплавов аргонодуговой сваркой в сварном шве образуется материал с неизученными свойствами.

Ранее для представленных сочетаний отечественных и импортных материалов, были проведены экспериментальные исследования по оценке временного сопротивления разрыву. По результатам экспериментальных исследований установлено [1, 4]:

– разрушение опытных образцов происходит по основному металлу, наименее прочному из пары свариваемых материалов;

– применительно к сварным соединениям из титановых сплавов наибольшая прочность соответствует образцам, отжиг которых проводился при температуре неполного отжига наиболее прочного материала в исследуемом сварном соединении.

Однако по одному временному сопротивлению разрыву невозможно судить о долговечности сварных соединений, являющихся геометрическими и структурными концентраторами напряжений [7–10].

В настоящее время отсутствуют сведения о малоцикловой усталости сварных соединений отечественных и импортных титановых сплавов и коррозионно-стойких сталей. Не установлены технологические режимы процесса сварки, а также оптимальные температурные режимы отжигов, способствующих повышению эксплуатационных характеристик сварных соединений.

Материалы и методы

В ходе проведенных исследований отрабатывалась технология сварки и термообработки стыковых сварных соединений из листовых титановых сплавов и коррозионно-стойких сталей отечественного и импортного производства с последующим проведением ресурсных испытаний на малоцикловую усталость опытных образцов сварных соединений.

Опытные образцы изготавливались из листовых заготовок толщиной 1 мм, которые сваривались встык по ГОСТ 14771-76 «Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры» при помощи установки автоматической аргонодуговой сварки АДСВ-2. Режимы автоматической аргонодуговой сварки представлены в таблице 1. Полученные плоские сварные заготовки разрезались по схеме, приведенной на рисунке 1, собирались в пакет и фрезеровались в размеры, указанные на рисунке 2.

Таблица 1.

Режимы автоматической аргонодуговой сварки на постоянном токе без присадки для изготовления опытной партии образцов

Table 1.

Modes of automatic argon arc welding with direct current without additives for the manufacture of an experimental batch of samples

Параметр режима автоматической аргонодуговой сварки Parameter of automatic argon-arc welding	Свариваемые материалы Welded materials	
	Титановые сплавы Titanium Alloys	Коррозионно-стойкие стали Corrosion resistant Steel
Сварочный ток, А | Welding current, a	70–75	65–75
Скорость сварки, м/ч | Welding speed, m / h	20–22	18–20
Напряжение дуги, В | Arc voltage, V	8–9	8–9
Установочная длина дуги, мм | Installation arc length, mm	1,0–1,5	1,0–1,5
Диаметр вольфрамового электрода, мм Diameter of tungsten electrode, mm	2,0–2,5	2,0–2,5
Расход аргона, л/мин, для защиты (Argon consumption, L/min, for protection): – дуги и шва (Arc and seam); – обратной стороны шва (reverse side of the seam).	 5–7 1–2	 6–7 1–2

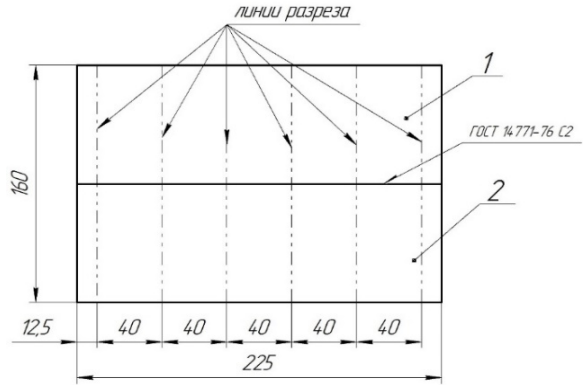


Рисунок 1. Схема получения заготовок для изготовления опытных образцов: 1 – листовая заготовка из материала № 1; 2 – листовая заготовка из материала № 2

Figure 1. The scheme of obtaining blanks for the manufacture of samples: 1 – sheet blank of material № 1; 2 – sheet blank of material № 2

Опытные образцы из титановых сплавов подвергали воздушному отжигу в лабораторных муфельных печах с выдержкой в течение 1 ч. Температуру отжига T_o выбирали в зависимости от температуры неполного отжига для наиболее прочного сплава в изучаемой паре, что связано с необходимостью восстановления пластичности и снятия остаточных напряжений, в первую очередь, для наиболее высокопрочного сплава [1, 5]. Для удаления поверхностных оксидов после отжига титановых образцов при $T_o = 650 - 750$ °С применяли пескоструйную обработку поверхности с избыточным давлением воздуха в сети не более 0,1 МПа. При отжиге с температурами менее 600 °С операцию удаления окалины перед травлением не осуществляли. Облагораживающее травление образцов производили в смеси HNO_3 (600–750 мл/л, плотностью 1,40 г/см^3) и HF (180–220 мл/л, плотностью 1,13 г/см^3) при температуре 20–23 °С в течение времени, необходимого для полного удаления газонасыщенного слоя. Полноту удаления контролировали по микротвердости поверхности на образцах-свидетелях [6].

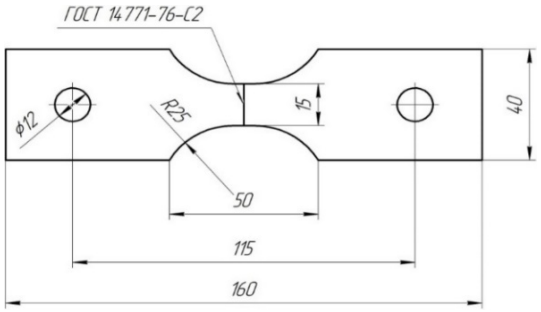


Рисунок 2. Опытный образец для проведения ресурсных испытаний на малоцикловую усталость

Figure 2. The prototype for endurance tests on low-cycle fatigue

Опытные образцы из коррозионно-стойких сталей не отжигали.

Испытания на малоцикловую усталость проводили на модернизированной испытательной машине УММ-10 при повторно-статическом растяжении с коэффициентом асимметрии $R = +0,1$ и при частоте $f = 0,6 - 0,8$ Гц. Максимальное растягивающее напряжение принимали равным $\sigma_{max} \approx 0,8\sigma_в$ (здесь $\sigma_в$ – временное сопротивление разрыву наименее прочного сплава в паре). Ось главных напряжений от внешнего нагружения во всех случаях была перпендикулярна сварному шву. Испытания проводили до разрушения образца.

Результаты и обсуждение

Результаты ресурсных испытаний на малоцикловую усталость опытных образцов сварных соединений представлены в таблице 2 и на рисунке 3.

Таблица 2.

Результаты испытаний на малоцикловую усталость опытных образцов сварных соединений из коррозионно-стойких сталей

Table 2.

The results of tests on low-cycle fatigue test samples of welded joints of corrosion-resistant steel

Свариваемые стали Welded steel	Количество циклов до разрушения Number Cycles to destruction	Зона и тип разрушения Zone and type of destruction
12х18Н10Т + 12х18Н10Т	39785	Усталостное разрушение по линии сплавления с образованием усталостной трещины и зоны долома Fatigue fracture in the line of fusion with the formation of fatigue crack and the area of the scrap
	35318	
	12812	
	18212	
	23385	
AISI 321 + AISI 321	17352	
	31294	
	22281	
	20800	
	17396	
12х18Н10Т + AISI 321	25324	
	20278	
	21925	
	22055	
	17941	

На рисунке 4 представлены примеры разрушения при испытании опытных образцов сварных соединений на малоцикловую усталость.

Анализ результатов испытаний образцов из титановых сплавов показал, что практически все разрушения имели усталостный характер. Исключения составляли только отдельные случаи квазистатического разрушения (без выраженной усталостной трещины) для сварных соединений со стороны наименее прочного металла (ВТ1–0, Т40, ПТ-7М), когда температура отжига превышала температуру начала рекристаллизации данного металла.

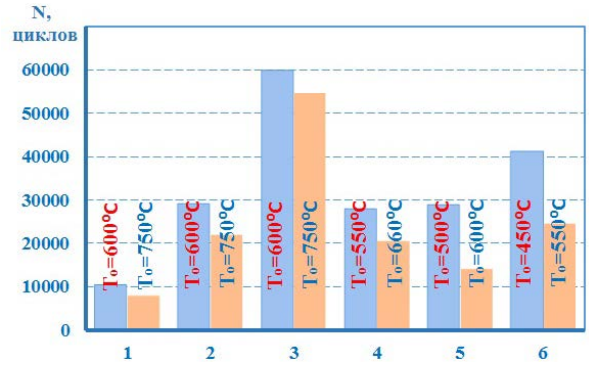
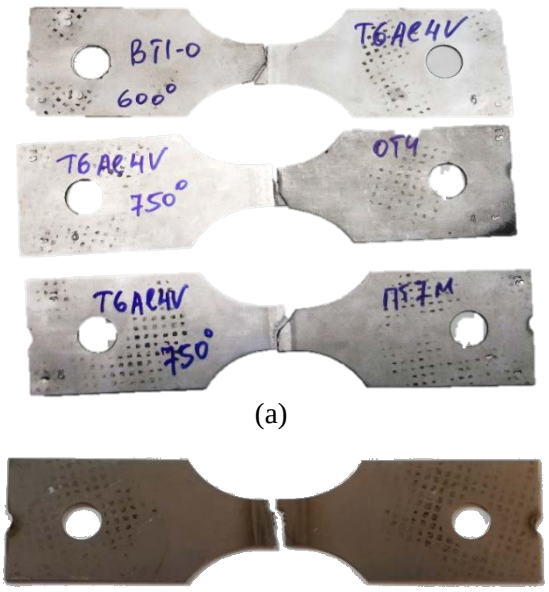


Рисунок 3. Среднее количество *N* циклов до разрушения опытных образцов из сочетания титановых сплавов: 1) ОТ4 + Ti-6Al-4V; 2) ПТ-7М + Ti-6Al-4V; 3) ВТ1 – 0 + Ti-6Al-4V; 4) ОТ4 + Т40; 5) ПТ-7М + Т40; 6) ВТ1 – 0 + Т40

Figure 3. The average number of N cycles until the destruction of prototypes of a combination of titanium alloys: 1) OT4 + Ti-6Al-4V; 2) PT-7M + Ti-6Al-4V; 3) VT1 – 0 + Ti-6Al-4V; 4) OT4 + T40; 5) PT-7M + T40; 6) VT1 – 0 + T40



(a)

(b)

Рисунок 4. Типичный вид разрушений образцов сварных соединений: (a) – из титановых сплавов; (b) – из коррозионно-стойких сталей

Figure 4. A typical form of destruction of samples of welded joints: (a) – of titanium alloys; (b) – of corrosion-resistant steels

Разрушение по линии сплавления можно объяснить одновременным действием геометрических (подрезы) и структурных (крупнозернистая β-превращённая микроструктура) концентраторов напряжений. Усталостное разрушение, как правило, начиналось около шва со стороны наименее прочного сплава в паре.

Можно отметить, что применение температур неполного отжига в сравнении с полным позволяет повысить циклическую долговечность для сварных соединений из отечественных и импортных титановых сплавов в 1,3–2,0 раза.

Из результатов сравнительных испытаний образцов из коррозионностойких сталей следует, что повторно-статическая долговечность сварных соединений из сталей 12х18Н10Т + +AISI 321 находится приблизительно на уровне долговечности образцов, изготовленных только из стали AISI 321. Разрушение во всех случаях носило усталостный характер и начиналось по линии сплавления. Повторно-статическая долговечность образцов, изготовленных из отечественной стали 12х18Н10Т, в среднем оказалась приблизительно на 17% выше, чем у образцов из стали AISI 321. Это можно объяснить несколько большим исходным уровнем предела её прочности $\sigma_в$ (68,3 кг/мм^2 – для стали 12х18Н10Т против 65,8 кг/мм^2 – для стали AISI 321).

Заключение

1. Разрушение сварных соединений разноимённых сплавов практически во всех случаях носит усталостный характер и происходит по линии сплавления или по зоне термического влияния со стороны наименее прочного сплава в паре.

2. Применение режимов неполного отжига в сравнении с полным отжигом позволяет повысить циклическую долговечность для сварных соединений из разноимённых титановых сплавов в 1,3–2,0 раза.

3. Отечественная сталь 12х18Н10Т и импортная сталь AISI 321, а также их сварные соединения обладают близкими свойствами как по прочности, так и по повторно-статической долговечности.

ЛИТЕРАТУРА

1 Vasechkin M.A., Davydov O.Yu., Kolomenskii A.B., Egorov S.V. Effect of welding and heat treatment regimes on the mechanical properties of various titanium alloy welded joints // Chemical and Petroleum Engineering. 2018. V. 54. № 7–8. P. 525–530. doi: 10.1007/s10556–018–0512–1

2 Шашкова Ю.Е. Применение титана и титановых сплавов для различных отраслей промышленности. Основные свойства и преимущества // Сфера нефтегаз. 2011. № 3. С. 166–167.

3 Глазунов С.Г., Ясинский К.К. Титановые сплавы для авиационной техники и других отраслей промышленности // Технология легких сплавов. 1993. № 7–8. С. 47–54.

4 Васечкин М.А., Егоров С.В., Коломенский А.Б., Чертов Е.Д. Временное сопротивление разрыву сварных конструкций, изготовленных из отечественных и импортных материалов // Вестник ВГУИТ. 2015. № 4(66). С. 61 – 65.

5 Производственная инструкция ПИ 1.2.587–02. Термическая обработка полуфабрикатов и деталей из титановых сплавов. М.: ВИАМ. 29 с.

6 Производственная инструкция ПИ 1.2.132–79. Удаление окалины и альфированного слоя с поверхности полуфабрикатов и деталей из титановых сплавов. М.: ВИАМ. 13 с.

7 Bai R. et al. Study on welding sequence of butt-welded structures based on equivalent heat source parameter // International Journal of Pressure Vessels and Piping. 2018. V. 163. P. 15–22.

8 Liang W., Deng D. Investigating the influence of external restraint on welding distortion in thin-plate welded structures by means of numerical simulation technology // Journal of Physics: Conference Series. 2018. V. 1063. №. 1. P. 012082. doi: 10.1088/1742-6596/1063/1/012082

9 Hector R., Naoki O., Hidekazu M., Sherif R. Development of a Practical Straightening Simulation for Welded Structures Using Inherent Strain Method // KnE Engineering. 2018. V. 3. №. 1. P. 332–343. doi: 10.18502/keg.v3i1.1438

10 Bhatti A.A., Barsoum Z., Khurshid M. Development of a finite element simulation framework for the prediction of residual stresses in large welded structures //Computers & Structures. 2014. V. 133. P. 1–11.

REFERENCES

1 Vasechkin M.A., Davydov O.Yu., Kolomenskii A.B., Egorov S.V. Effect of welding and heat treatment regimes on the mechanical properties of various titanium alloy welded joints. Chemical and Petroleum Engineering. 2018. vol. 54. no. 7–8. pp. 525–530. doi: 10.1007/s10556–018–0512–1

2 Shashkova Yu. E. Use of titanium and titanium alloys for various branches of industry. Main properties and advantages. *Sfera neftegaz* [Sphere oil and gas]. 2011. no. 1. pp. 166–167. (in Russian)

3 Glazunov S.G., Yasinskii K.K. Titanium alloys for aviation technology and other branches of industry. *Tekhnologiya legkih splavov* [Light alloy technology]. 1993. no. 7–8. pp. 47–54. (in Russian)

4 Vasechkin M.A., Egorov S.V., Kolomenskii A.B., Chertov E.D. Ultimate breaking strength of welded joints prepared from domestic and foreign materials. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2015. no. 4. pp. 61–65. (in Russian)

5 Production instruction PI 1.2.587–02. Termicheskaya obrabotka polufabrikatov i detalej iz titanovyh splavov [Heat treatment of semi-finished products and parts made of titanium alloys]. Moscow, VIAM. 29 p. (in Russian)

6 Production instructions PI 1.2.132–79. Udalenie okaliny i al'firovannogo sloya s poverhnosti polufabrikatov i detalej iz titanovyh splavov [Removal of scale and gas-saturated layer from the surface of semi-finished products and parts made of titanium alloys]. Moscow, VIAM. 13 p. (in Russian)

7 Bai R. et al. Study on welding sequence of butt-welded structures based on equivalent heat source parameter. International Journal of Pressure Vessels and Piping. 2018. vol. 163. pp. 15–22.

8 Liang W., Deng D. Investigating the influence of external restraint on welding distortion in thin-plate welded structures by means of numerical simulation technology. Journal of Physics: Conference Series. 2018. vol. 1063. no. 1. pp. 012082. doi: 10.1088/1742-6596/1063/1/012082

9 Hector R., Naoki O., Hidekazu M., Sherif R. Development of a Practical Straightening Simulation for Welded Structures Using Inherent Strain Method. KnE Engineering. 2018. vol. 3. no. 1. pp. 332–343. doi: 10.18502/keg.v3i1.1438

10 Bhatti A.A., Barsoum Z., Khurshid M. Development of a finite element simulation framework for the prediction of residual stresses in large welded structures. Computers & Structures. 2014. vol. 133. pp. 1–11.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Максим А. Васечкин к.т.н., доцент, кафедра технической механики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vmax77@mail.ru

Сергей В. Егоров аспирант, кафедра технологии сварочного производства и диагностики, Воронежский государственный технический университет, Московский проспект, 14, г. Воронеж, 394026, Россия, akvapaskal@mail.ru

Александр Б. Коломенский д.т.н., профессор, кафедра технологии сварочного производства и диагностики, Воронежский государственный технический университет, Московский проспект, 14, г. Воронеж, 394026, Россия, kolomenskii_alek@inbox.ru

Евгений Д. Чертов д.т.н., профессор, кафедра технический механики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ched@vsuet.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Максим А. Васечкин написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Сергей В. Егоров обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты

Александр Б. Коломенский предложил методику проведения эксперимента

Евгений Д. Чертов консультация в ходе исследования

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 30.10.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 03.12.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Maxim A. Vasechkin Cand. Sci. (Engin.), associate professor, department of technical mechanics, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vmax77@mail.ru

Sergey V. Egorov graduate student, department of welding technology and diagnostics, Voronezh state technical university, Moskovsky Av., 14, Voronezh, 394026, Russia, akvapaskal@mail.ru

Alexandr B. Kolomensky Dr. Sci. (Engin), professor, department of welding technology and diagnostics, Voronezh state technical university, Moskovsky Av., 14, Voronezh, 394026, Russia, kolomenskii_alek@inbox.ru

Evgenii D. Chertov Dr. Sci. (Engin), professor, department of technical mechanics, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ched@vsuet.ru

CONTRIBUTION

Maxim A. Vasechkin wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Sergey V. Egorov review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Alexandr B. Kolomensky proposed a scheme of the experiment

Evgenii D. Chertov consultation during the study

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.30.2018

ACCEPTED 12.3.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 004.891.3

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-80-89

Разработка модели принятия решения для постановки диагноза заболеваний на основе нечеткой логики

Людмила А. Коробова [1] lyudmila_korobova@mail.ru
Татьяна В. Гладких [1] gtv1113@rambler.ru

[1] Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Целью исследования является компьютерная разработка системы поддержки принятия решений (СППР) на основе обработки статистических данных для диагностики заболеваний. Современный темп жизни практически не оставляет человеку времени для возможности обращения к врачу, порой даже когда человек заболевает. Применительно к медицинскому обслуживанию внедрение и распространение информационных технологий становятся все более востребовательными и актуальными. Визит к врачу занимает большое количество времени. На получение любой справки, не говоря уже о реальном обследовании с необходимостью общения с врачом, в некоторых лечебных учреждениях уходит масса времени, нервов и сил. Сегодня современный человек не может позволить себе нерациональное расходование времени. При появлении различных недомоганий у человека-пользователя возникает потребность в быстрой диагностике состояния здоровья. Здесь появляется проблема в том, чтобы вовремя распознать заболевание, назначить правильное лечение и все же заставить пользователя обратиться к врачу, к специалисту для обследования с помощью специальных медицинских технологий, продолжения диагностики и последующего лечения. В данной работе представлена математическая модель с использованием нечеткой логики, которая стала основой при разработке прикладной программой, предназначенной для проведения первичной диагностики возможного заболевания. Программа выдает рекомендацию для дальнейшего обращения к специалисту. Исходные данные, на основе которых проводилась разработка модели, относятся к глазным заболеваниям. Любое недомогание причиняет неудобство человеку. Заболевание глаз рассматривается как нанесение поражения органических и физических способностей человека, ухудшается острота и четкость зрения. Человек теряет способность к зрительному анализу окружающей действительности. Накоплена огромная статистика, подтверждающая негативное влияние неблагоприятных факторов на зрительные органы человека. Исследуемые статистические данные относятся к области медицины, а именно – глазные заболевания. Данная область исследования и явилась основой рассмотрения. Анализ собранных данных показал, что их характер достаточно разноплановый и практически все они имеют только лингвистическое описание. Поэтому для их обработки необходимо было подобрать такой математический аппарат, который бы позволил провести их описание, структурирование и систематизацию. Для этого можно использовать модель на основе нечеткой логики. Таким образом, предметом исследования является анализ статистических данных, проводимый с помощью элементов нечетких множеств, который позволит разработать математическую модель определения класса заболевания. А затем, с помощью прямой цепочки рассуждений установить предполагаемый диагноз, как рекомендация системы поддержки принятия решений. Данный подход к разработке системы поддержки принятия решений для диагностики заболеваний еще не применялся. Задачами исследования является изучение диагностики заболеваний как информационного процесса, анализ статистических данных, описание, структурирование и систематизация данных с помощью элементов нечетких множеств и разработка математической модели с использованием правил вывода. Результатом исследования является информация по установлению принадлежности представленных недомоганий (симптомов) к классу заболеваний.

Ключевые слова: компьютерная система, диагностика, заболевания, информационный процесс

Development of a decision making model for diagnosing diseases based on fuzzy logic

Lyudmila A. Korobova [1] lyudmila_korobova@mail.ru
Tatyana V. Gladkikh [1] gtv1113@rambler.ru

[1] Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The aim of the study is computer-aided decision-making support system (DSS) based on statistical data processing for the diagnosis of diseases. The modern pace of life leaves little time for a person to be able to see a doctor, sometimes even when a person falls ill. With regard to medical services, the introduction and dissemination of information technologies are becoming more and more relevant and relevant. A visit to the doctor takes a lot of time. To obtain any information, not to mention the actual examination with the need to communicate with the doctor, in some medical institutions it takes a lot of time, nerves and energy. Today, modern man cannot afford to waste time. With the emergence of various ailments in the human user there is a need for rapid diagnosis of the state of health. The problem here is to recognize the disease in time, prescribe the correct treatment and still force the user to see a doctor, a specialist for examination with the help of special medical technologies, continued diagnosis and subsequent treatment. This paper presents a mathematical model using fuzzy logic, which became the basis for the development of an application program designed to conduct a primary diagnosis of a possible disease. The program issues a recommendation for further treatment to a specialist. Baseline data, on the basis of which the development of the model was carried out, are related to eye diseases. Any discomfort causes inconvenience to the person. Eye disease is considered as a defeat of the organic and physical abilities of a person, sharpness and clarity of vision deteriorate. A person loses the ability to visually analyze the surrounding reality. A huge amount of statistics has been accumulated confirming the negative impact of adverse factors on the human visual organs. The studied statistics are related to the field of medicine, namely eye diseases. This area of research was the basis for consideration. The analysis of the collected data showed that their character is quite diverse and almost all of them have only a linguistic description. Therefore, for their processing it was necessary to choose a mathematical apparatus that would allow for their description, structuring and systematization. To do this, you can use a model based on fuzzy logic. Thus, the subject of research is the analysis of statistical data conducted using elements of fuzzy sets, which will allow to develop a mathematical model for determining the class of the disease. And then, with the help of a direct chain of reasoning, establish a presumptive diagnosis, as a recommendation of a decision support system. This approach to developing a decision support system for diagnosing diseases has not yet been applied. The objectives of the study is to study the diagnosis of diseases as an information process, the analysis of statistical data, description, structuring and systematization of data using elements of fuzzy sets and the development of a mathematical model using the inference rules. The result of the study is information on the determination of the belonging of the ailments (symptoms) to the class of diseases.

Keywords: computer system, diagnostics, diseases, information process

Для цитирования

Коробова Л.А., Гладких Т.В. Разработка модели принятия решения для постановки диагноза заболеваний на основе нечеткой логики // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 80–89. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-80-89

For citation

Korobova L.A., Gladkikh T.V. Development of a decision making model for diagnosing diseases based on fuzzy logic. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 80–89. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-80-89

Введение

Развитие мобильных устройств и различных приложений к ним приучило пользователей к тому, что они могу найти в сети информацию по любой теме и ответ на любой вопрос. Разработка прикладных программных продуктов приучает современного человека к общению со специалистами через мобильные устройства: телефоны, планшеты, смартфоны. Современный темп жизни практически не оставляет человеку времени для обращения к врачу, порой даже когда человек заболевает. Применительно к медицинскому обслуживанию внедрение и распространение информационных технологий становится все более востребованным и актуальным [6–10]. Визит к врачу занимает много времени. Сегодня современный человек не может позволить себе нерациональное расходование времени. При появлении различных недомоганий у человека-пользователя возникает потребность в быстрой диагностике состояния здоровья. Здесь появляется проблема в том, чтобы вовремя распознать заболевание, назначить правильное лечение и все же заставить пользователя обратиться к врачу, к специалисту для обследования с помощью специальных медицинских технологий. Разработка математической модели с использованием нечеткой логики станет основой разработки прикладной программы, предназначенной для проведения первичной диагностики возможного заболевания [1].

Рассмотрим процесс диагностики заболеваний с целью получения необходимых данных. Модель процесса «Диагностика заболеваний» представлена на рисунке 1 с помощью контекстной диаграммы с использованием методологии проектирования IDEF [1].



Рисунок 1. Контекстная диаграмма процесса диагностики заболеваний

Figure 1. Context diagram of the disease diagnosis process

Диаграмма отображает процесс диагностики заболеваний с учетом автоматизации. На ней представлены основные информационные потоки.

Входная информация:

- симптомы пациента – весь перечень симптомов, которые присутствуют у пациента во время заболевания;
- данные о пациенте для корректной постановки диагноза.

Механизмы:

- база данных; программный модуль диагностики заболеваний – это система поддержки принятия решений, с помощью которой пользователь может провести компьютерную диагностику заболеваний;
- пользователь, осуществляющий компьютерную диагностику заболеваний. База данных должна содержать следующую информацию:
- статистические данные о заболевших по возрастным группам;
- статистические данные о заболевших по первичным симптомам;
- статистические данные о заболевших по возможным причинам возникновения заболевания;
- список классов заболеваний;
- список заболеваний;
- список симптомов;
- список причин возникновения заболеваний;
- возрастная шкала.

Управление процессом:

- прямая цепочка рассуждений – это реализация базы знаний клинических исследований диагностики заболеваний;
- модель нечеткого вывода – это правила вывода класса заболевания с использованием статистических данных. В рамках данной работы рассматривается только поток управления, связанный с разработкой модели поддержки принятия решения на основе нечеткой логики и статистических данных.

Выходная информация: возможный диагноз – вывод определенного заболевания как результат обработки данных пациента [2].

Постановка задачи

Для автоматизации процесса диагностики заболеваний необходимо наличие большого количества статистических данных. Их характер достаточно разноплановый, и практически все они имеют только лингвистическое описание. Поэтому для их обработки требуется подобрать такой математический аппарат, который бы позволил провести их описание, структурирование и систематизацию. Для этого предлагается использовать модель на основе нечеткой логики.

Теоретическая часть

Система поддержки принятия решений диагностики заболеваний на основе статистических данных состоит из двух частей.

1) Разработка такой модели, которая на основе статистических данных о заболевании и нечеткой логики позволит оказывать помощь пользователю в вопросе принятия решения.

2) Разработка программной модели для установки диагноза глазных заболеваний с применением прямой цепочки рассуждений [2].

Предлагаемый подход к разработке СППР для диагностики заболеваний еще не применялся, поэтому тема исследования является актуальной.

Для разработки СППР на основе статистических данных необходимо решить следующие задачи:

1) изучить особенности процесса компьютерной диагностики;

2) провести статистический анализ;

3) разработать базу данных для хранения статистических данных;

4) разработать программное обеспечение.

Модель принятия решения на основе статистических данных и нечеткой логики базируется на статистическом исследовании и анализе данных о заболевании и включает в себя теорию нечетких множеств А. Заде.

Постановку диагноза можно условно разделить на 2 этапа: первый – определение класса заболевания; второй – постановка непосредственно самого диагноза.

Для рассмотрения процесса постановки диагноза использованы статистические данные, относящиеся к области медицины, а именно к глазным заболеваниям. Использование конкретной предметной области дает возможность сузить направленность исследований, что позволяет детально изучить область заболевания и сделать постановку диагноза более точной. Для того чтобы сузить количество возможных заболеваний, производится их разделение на классы. Это сужает область поиска заболевания. После определения класса заболевания пользователю предлагается список возможных симптомов, из которых необходимо выбрать имеющиеся у обратившегося к системе пользователя.

В качестве входных переменных математической модели нечеткого вывода выбраны следующие показатели состояния обращающегося к системе пользователя:

- возрастные болезни (T);
- первичные симптомы (S);
- возможные причины поражения зрения (P).

Построим функцию принадлежности, основываясь на статистических медицинских данных. Для этого вся информация должна быть систематизирована. Это предусматривает создание списка симптомов с указанием того, как часто каждый симптом встречается при конкретном заболевании [9]. Затем проводим разбиение шкалы симптомов на фиксированные элементарные интервалы.

Пусть у n обращающихся к системе пользователей в некоторый интервал i симптома j k раз был установлен диагноз 1. Используя эти данные, проводим расчет частоты попадания определенного симптома в каждый элементарный интервал заболевания по следующей формуле:

$$f_i = \frac{k_i}{n}. \qquad (1)$$

На рисунке 2 представлены статистические данные частоты попадания заболевания в интервал по возрастным группам. На рисунке 3 представлены статистические данные частоты попадания заболевания в интервал по шкале симптомов. На рисунке 4 представлены статистические данные частоты попадания заболевания в интервал по шкале причины возникновения заболевания.

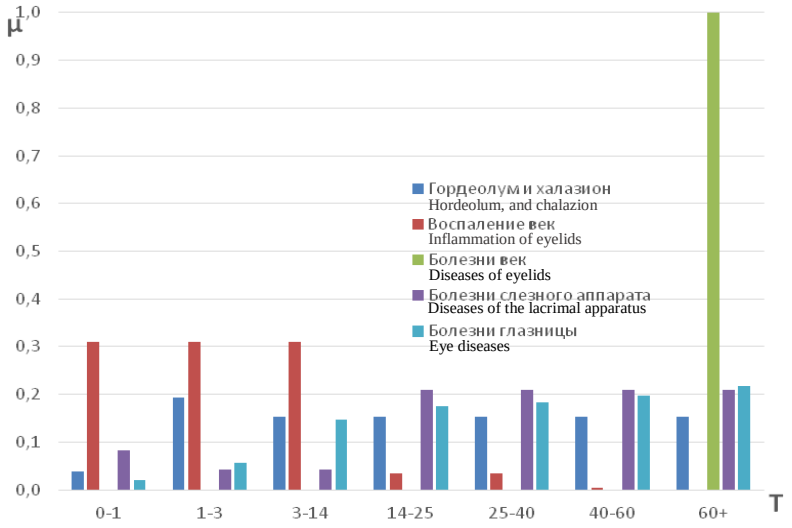


Рисунок 2. Статистические данные глазных заболеваний по возрастным группам на интервале μ = [0,1]

Figure 2. Statistical data of eye diseases by age groups at the interval μ = [0,1]

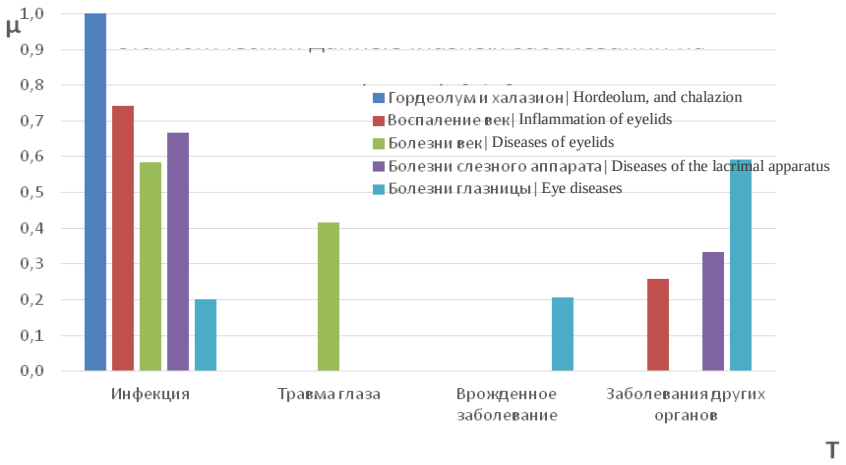


Рисунок 3. Статистические данные глазных заболеваний по симптомам на интервале μ = [0,1]

Figure 3. Statistics of eye diseases by symptoms at the interval μ = [0,1]

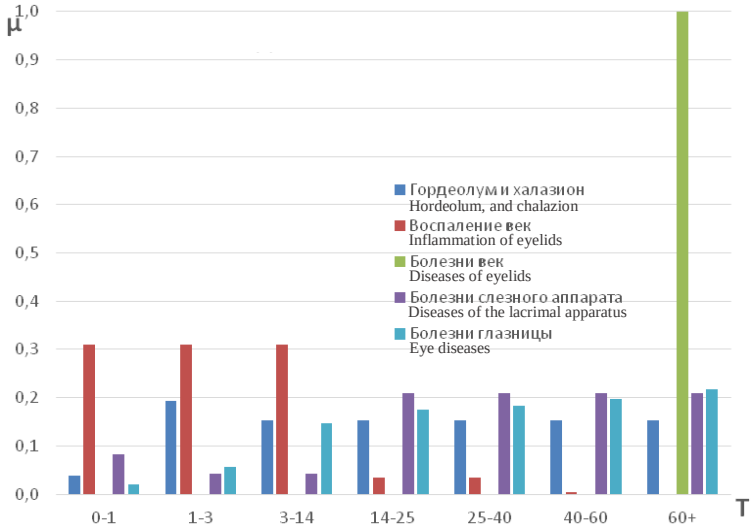


Рисунок 4. Статистические данные глазных заболеваний по причинам возникновения болезни на интервале μ = [0,1]

Figure 4. Statistical data of eye diseases due to the origin of the disease at the interval μ = [0,1]

Данные о заболеваниях по возрастным группам приведены в таблице 1. Данные о заболеваниях по симптоматике приведены в таблице 2. Данные о заболеваниях по причине возникновения приведены в таблице 3.

Таблица 1.

Статистические данные о заболевании глаз по возрастным группам

Table 1.

Eye disease statistics by age group

Возраст (Т) | Age (T)	0–1	1–3	3–14	14–25	25–40	40–60	60+
Гордеолум и халазион (1) | Hordeolum, and chalazion (1)	6,20%	1,24%	1,24%	1,24%	1,24%	1,86%	6,20%
Воспаление век (2) | Inflammation of eyelids (2)	11,17%	11,17%	1,24%	1,24%	0,12%	0,00%	11,17%
Болезни век (3) | Diseases of eyelids (3)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,23%	0,00%
Болезни слезного аппарата (4) | Diseases of the lacrimal apparatus (4)	1,24%	1,24%	6,20%	6,20%	6,20%	6,20%	1,24%
Болезни глазницы (5) | Eye diseases (5)	0,99%	2,61%	3,10%	3,23%	3,47%	3,85%	0,99%

Таблица 2.

Статистические данные о заболевании глаз по симптомам

Table 2.

Eye symptom statistics for symptoms

Первичные симптомы (S) Primary symptoms (S)	Температура/ лихорадка Temperature/ fever	Отек в области глаза Swelling around the eyes	Снижение остроты зрения Reduced sharpness of vision	Слезотечение Watery eyes	Сухость в глазу Dry eye	Косметический дефект Cosmetic defect
Гордеолум и халазион Hordeolum, and chalazion	0,00%	100,0%	0,00%	34,78%	0,00%	53,04%
Воспаление век Inflammation of the eyelids	55,67%	58,08%	0,00%	59,45%	40,55%	41,92%
Болезни век Diseases of eyelids	0,00%	0,00%	72,22%	69,44%	30,56%	77,78%
Болезни слезного аппарата Diseases of the lacrimal apparatus	0,00%	16,88%	16,88%	82,92%	16,88%	82,92%
Болезни глазницы Eye diseases	0,00%	50,00%	25,00%	0,00%	0,00%	75,00%

Таблица 3.

Статистические данные о заболевании глаз по причинам возникновения

Table 3.

Eye disease statistics by cause

Причины (P) | Reasons (P)	Инфекционное заболевание Infectious disease	Травма глаза Trauma eye	Врожденное заболевание Congenital disease	Заболевания других органов diseases of Other organs
Гордеолум и халазион Hordeolum, and chalazion	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Воспаление век Inflammation of the eyelids	74,23%	0,00%	0,00%	25,77%
Болезни век Diseases of eyelids	58,33%	41,67%	0,00%	0,00%
Болезни слезного аппарата Diseases of the lacrimal apparatus	66,67%	0,00%	0,00%	33,33%
Болезни глазницы Eye diseases	19,72%	0,00%	20,42%	58,45%

Обозначим через $X = X_1 \times X_2 \times X_3$ – множество входных характеристик пациента, где $x_1 \in X_1 = \{ t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7 \}$ – возраст пациента: t_1 – 0–1 года, t_2 – 1–3 года, t_3 – 3–14 лет, t_4 – 14–25 лет, t_5 – 25–40 лет, t_6 – 40–60 лет, t_7 –> 60 лет; $x_2 \in X_2 = \{ s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6 \}$ – первичные симптомы: s_1 – температура / лихорадка, s_2 – отек в области глаза, s_3 – снижение остроты зрения, s_4 – слезотечение, s_5 – сухость в глазу, s_6 – косметический дефект; $x_3 \in X_3 = \{ p_1, p_2, p_3 p_4 \}$ – причины возникновения заболеваний: p_1 – инфекция, p_2 – травма глаза, p_3 – врожденное заболевание, p_4 – заболевание других органов. $Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5\}$ – множество классов заболеваний, где $y_i = \{(x, \mu_{y_i}(x)) \mid x \in X\}$ – нечёткое множество заболевания с вектор-функцией принадлежности

$$\mu_{y_i}(x) = \begin{pmatrix} \mu_{i1}(x_1) \\ \mu_{i2}(x_2) \\ \mu_{i3}(x_3) \end{pmatrix}. \qquad (2)$$

Постановку диагноза можно представить как механизм выбора на множестве Y на основе нечёткой логики.

$$\forall x \in X \to \{\mu_{y_i}(x)\}_{i=1}^{5} \to y = C_\mu(Y) \subseteq Y, |y| = 1, \quad (3)$$

$$C_\mu(Y) = \{y \in Y \mid \max(\mu_i(x) = \min_j(\mu_{ij}(x_j)))\}. \quad (4)$$

Степень принадлежности некоторого значения вычисляется как отношение числа экспериментов, в которых оно встречалось в определенном интервале шкалы, к максимальному для этого значения числу экспериментов по всем интервалам:

$$c_{imax} = \max(c_{ij}), \quad (5)$$

где c_{ij} – элементы таблицы данных о заболевании по возрастной шкале, тогда функция принадлежности рассчитывается по следующей формуле:

$$\boldsymbol{\mu}_i(x) = \frac{c_{ij}}{c_{imax}}. \quad (6)$$

На рисунках 5–7 показаны графики функции принадлежности. Значения функций принадлежности приведены в таблицах 4–7.

Таблица 4.

Значения функций принадлежности «возрастные группы» μ(T)

Table 4.

Values of membership functions "age groups" μ (T)

Значения функции принадлежности «Возраст» | The values of the membership function of "Age"							
Возраст (T) | Age (T)	0–1	1–3	3–14	14–25	25–40	40–60	60+
Гордеолум и халазион μ(T)_1 Hordeolum, and chalazion μ(T)_1	0,20	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,30
Воспаление век μ_2 Inflammation of the eyelids μ_2	1,00	1,00	1,00	0,11	0,11	0,01	0,00
Болезни век μ_3 Diseases of eyelids μ_3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
Болезни слезного аппарата μ_4 Diseases of the lacrimal apparatus μ_4	0,40	0,20	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00
Болезни глазницы μ_5 Diseases of the orbit μ_5	0,10	0,26	0,68	0,81	0,84	0,90	1,00

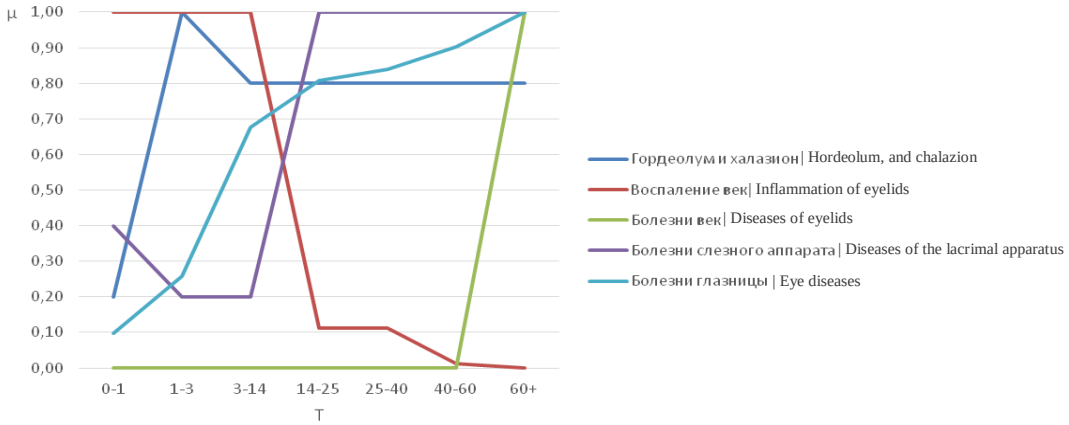


Рисунок 5. Значения функции принадлежности «Возраст»

Figure 5. The values of the membership function of "Age"

Таблица 5.

Значения функции принадлежности «первичные симптомы» μ(S)

Table 5.

Values of the membership function "primary symptoms" μ (S)

Значения функции принадлежности «Первичные симптомы» | The values of the membership function of "Primary symptoms"						
Причины (P) | Reasons (P)	Температура/ лихорадка Temperature/ fever	Отек в области глаза Swelling around the eyes	Снижение остроты зрения Reduced sharpness of vision	Слезотечение Watery eyes	Сухость в глазу Dry eye	Косметический дефект Cosmetic defect
1	2	3	4	5	6	7
Гордеолум и халазион μ(T)_1 Hordeolum, and chalazion μ(T)_1	0,00	1,00	0,00	0,35	0,00	0,53

Продолжение табл. 5 | Continuation of table 5

1	2	3	4	5	6	7
Воспаление век μ_2 Inflammation of the eyelids μ_2	0,96	1,00	0,00	1,00	0,68	0,71
Болезни век μ_3 Diseases of eyelids μ_3	0,00	0,00	0,93	0,89	0,39	1,00
Болезни слезного аппарата μ_4 Diseases of the lacrimal apparatus μ_4	0,00	0,20	0,20	1,00	0,20	1,00
Болезни глазницы μ_5 Diseases of the orbit μ_5	0,00	0,67	0,33	0,00	0,00	1,00

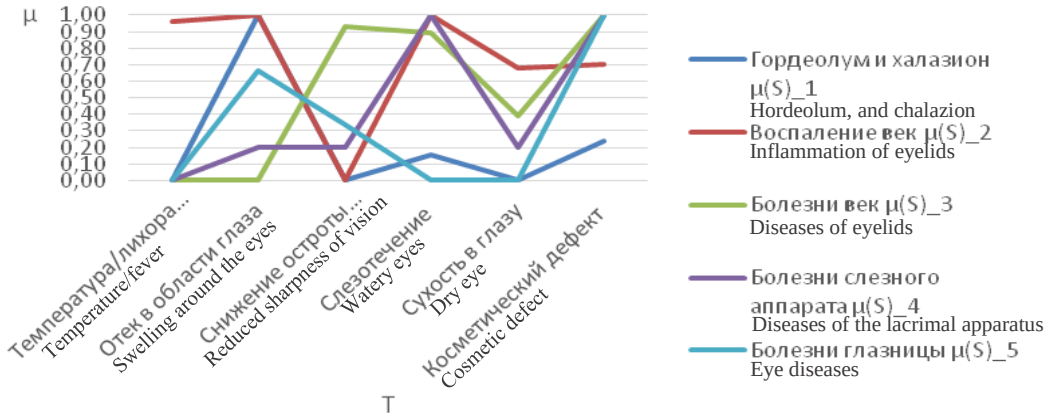


Рисунок 6. Значения функции принадлежности «Первичные симптомы»

Figure 6. The values of the membership function of "Primary symptoms"

Таблица 6

Значения функции принадлежности «причины возникновения болезни» μ(P)

Table 6.

Values of the membership function of the “cause of disease” μ (P)

Значения функции принадлежности «Причины возникновения болезни» The values of the membership function of "Causes of the disease"				
Причины (P) | Reasons (P)	Инфекционное заболевание Infectious disease	Травма глаза Trauma eye	Врожденное заболевание Congenital disease	Заболевания других органов diseases of Other organs
Гордеолум и халазион μ(T)_1 Hordeolum, and chalazion μ(T)_1	1,00	0,00	0,00	0,00
Воспаление век μ_2 Inflammation of the eyelids μ_2	1,00	0,00	0,00	0,35
Болезни век μ_3 Diseases of eyelids μ_3	1,00	0,71	0,00	0,00
Болезни слезного аппарата μ_4 Diseases of the lacrimal apparatus μ_4	1,00	0,00	0,00	0,50
Болезни глазницы μ_5 Diseases of the orbit μ_5	0,34	0,00	0,35	1,00

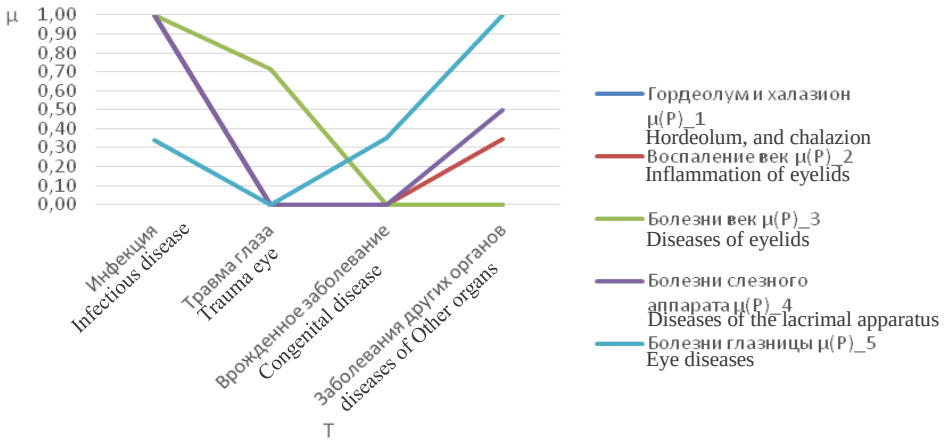


Рисунок 7. Значения функции принадлежности «Причины возникновения болезни»
Figure 7. The values of the membership function "Causes of the disease"

Нечеткая композиция

1) Операция логической конъюнкции используется для того, чтобы определить степень принадлежности симптома или заболевание пациента к области заболевания (например, возрастное это заболевание или инфекционное).

2) Операция логической дизъюнкции используется для определения максимального значения оценки степени принадлежности симптома к области заболевания.

Рассмотрим это на примере двух пациентов.

Пациент:

- возраст 14 лет;
- первичный симптом: снижение зрения;
- возможная причина: травма глаза.

Определим степень принадлежности симптомов, характеризующих состояние пациента, к *i*-й области заболевания $\left(\min_j(\mu_{ij}(x_j))\right)$.

Для этого выполним операцию логической конъюнкции по полученным значениям относительно каждой области заболевания в соответствии со следующим соотношением:

$$\mu_{ij}(x_j) = \min_j(\mu_{ij}(x_j)). \qquad (7)$$

В результате получены следующие значения:

Таблица 7.

Максимальные значения функций принадлежности по показателям классификации пациентов для каждого заболевания

Table 7.

Maximum values of membership functions in terms of the classification of patients for each disease

	Гордеолум и халазион (1) Hordeolum, and chalazion (1)	Воспаление век (2) Inflammation of eyelids (2)	Болезни век (3) Diseases of eyelids (3)	Болезни слезного аппарата (4) Diseases of the lacrimal apparatus (4)	Болезни глазницы (5) Eye diseases (5)
μ (T)	0,20	0,11	0,00	1,00	0,11
μ (S)	0,00	0,00	0,93	0,20	0,33
μ (P)	0,00	0,00	0,71	0,00	0,00

min не отрицателен

$$\mu_{1min} = \min\{0,2; 0; 0\} = 0,2,$$

$$\mu_{2min} = \min\{0,11; 0; 0\} = 0,11,$$

$$\mu_{3min} = \min\{0; 0,93; 0,71\} = 0,71,$$

$$\mu_{4min} = \min\{1; 0,2; 0\} = 0,2,$$

$$\mu_{5min}\ \mu_{5min} = \min\{0,11; 0,33; 0\} = 0,33.$$

Вторая операция, а именно операция логической дизъюнкции, используется для определения максимального значения оценки степени принадлежности состояния пациента к соответствующей области заболевания, что осуществляется путем сопоставительного анализа полученных совокупностей оценок. Тогда для всех значений выбранных входных переменных математической модели нечеткого вывода получим:

$$\max(\mu_i(x)) = \max(\mu_{1min}, \mu_{2min}, \mu_{3min}, \mu_{4min}, \mu_{5min}), \quad (8)$$

$max(\mu_i(x)) = 0,71$, т. е., $max(\mu_i(x)) = \mu_{3min}$,

следовательно, у пациента область заболевания 3 (Болезни век).

Составляем базу знаний в виде нечетких правил [4].

Назначение базы данных следующее: 1) иллюстрация взаимодействия между входными и выходными параметрами; 2) осуществление поддержки принятия решений [3]. Элементами нечеткой базы знаний являются отдельные нечеткие правила вывода (НПВ), из которых составляется конечное множество для базы знаний. Для примера разработки базы знаний в виде нечетких правил используем область заболевания глаз. На основе значений исследуемых входных переменных математической модели нечеткие правила вывода будут иметь следующий вид:

НПВ1: если $\boldsymbol{\mu}_{max} = \boldsymbol{\mu}_{1min}$, то область заболевания 1;

НПВ2: если $\boldsymbol{\mu}_{max} = \boldsymbol{\mu}_{2min}$, то область заболевания 2;

НПВ3: если $\boldsymbol{\mu}_{max} = \boldsymbol{\mu}_{3min}$, то область заболевания 3;

НПВ4: если $\boldsymbol{\mu}_{max} = \boldsymbol{\mu}_{4min}$, то область заболевания 4;

НПВ5: если $\boldsymbol{\mu}_{max} = \boldsymbol{\mu}_{5min}$, то область заболевания 5;

НПВ6: если $\boldsymbol{\mu}_{1min} = \boldsymbol{\mu}_{2min}$ или $\boldsymbol{\mu}_{1min} = \boldsymbol{\mu}_{3min}$, или $\boldsymbol{\mu}_{1min} = \boldsymbol{\mu}_{4min}$, или $\boldsymbol{\mu}_{1min} = \boldsymbol{\mu}_{5min}$, или $\boldsymbol{\mu}_{2min} = \boldsymbol{\mu}_{3min}$, или $\boldsymbol{\mu}_{2min} = \boldsymbol{\mu}_{4min}$, или $\boldsymbol{\mu}_{2min} = \boldsymbol{\mu}_{5min}$, или $\boldsymbol{\mu}_{3min} = \boldsymbol{\mu}_{4min}$, или $\boldsymbol{\mu}_{3min} = \boldsymbol{\mu}_{5min}$, или $\boldsymbol{\mu}_{4min} = \boldsymbol{\mu}_{5min}$, то заболевание не определено.

В нашем примере $\max(\mu_i(x)) = \boldsymbol{\mu}_{3min}$, следовательно, у пациента область заболевания 3 (Болезнь век).

Пациент:

- возраст 5 лет;
- первичный симптом: лихорадка, сухость в глазу;
- возможная причина: заболевания других органов.

Так как мы имеем два симптома одной шкалы, то необходимо выполнить операцию логической конъюнкции, чтобы получить функцию принадлежности $\boldsymbol{\mu}_{iS}$ (таблицы 8, 9).

Таблица 8.

Численные значения функций принадлежности для возраста 5 лет

Table 8.

The numerical values of the membership functions for the age of 5 years

	Гордеолум и халазион (1) Hordeolum, and chalazion (1)	Воспаление век (2) Inflammation of eyelids (2)	Болезни век (3) Diseases of eyelids (3)	Болезни слезного аппарата (4) Diseases of the lacrimal apparatus (4)	Болезни глазницы (5) Eye diseases (5)
Лихорадка	0,00	0,96	0,00	0,00	0,00
Сухость в глазу	0,00	0,68	0,39	0,20	0,00
μ (S)	0,00	0,68	0,39	0,20	0,00

Мы получим следующие значения:

Таблица 9.

Максимальные значения функций принадлежности для возраста 5 лет

Table 9.

Maximum values of membership functions for age 5 years

	Гордеолум и халазион (1) Hordeolum, and chalazion (1)	Воспаление век (2) Inflammation of eyelids (2)	Болезни век (3) Diseases of eyelids (3)	Болезни слезного аппарата (4) Diseases of the lacrimal apparatus (4)	Болезни глазницы (5) Eye diseases (5)
μ (T)	0,20	1,00	0,00	0,20	0,68
μ (S)	0,00	0,68	0,39	0,20	0,00
μ (P)	0,00	0,35	0,00	0,50	1,00

Тогда

$$\mu_{1min} = \min\{0,2;\ 0;\ 0\} = 0,2$$

$$\mu_{2min} = \min\{2;\ 0,68;\ 0,35\} = 0,35$$

$$\mu_{3min} = \min\{0;\ 0,39;\ 0\} = 0,39$$

$$\mu_{4min} = \min\{0,2;\ 0,2;\ 0,5\} = 0,2$$

$$\mu_{5min} = \min\{0,68;\ 0;\ 1\} = 0,68$$

$$\max(\mu_i(x)) = 0,68$$

$$\max(\mu_i(x)) = \boldsymbol{\mu}_{5min},$$

Следовательно, у пациента область заболевания 5 (Болезни глазницы) [4].

Заключение

Разработан математический аппарат на основе нечеткой логики и прямой цепочки рассуждений. С помощью нечеткой логики синтезирована модель поддержки принятия решения для диагностики принадлежности болезни к классу глазных заболеваний. Проведено компьютерное моделирование алгоритмов [5]. Модель сужает область заболеваний и отсеивает количество симптомов. Кроме этого, она с достаточной степенью вероятности по первичным симптомам позволяет указать принадлежность состояния пациента к определенному классу заболевания.

ЛИТЕРАТУРА

1 Коробова Л.А., Малиенко Е.С., Сафонова Ю.А. Разработка медицинской экспертной системы диагностики заболеваний с использованием элементов теории множеств // Экономика и менеджмент систем управления. 2017. Т. 26. № 4.1. С. 172–178.

2 Бабаева Е.Ю., Коробова Л.А. Использование модели фреймов модели для представления знаний о классификации глазных заболеваний // Современные тенденции развития науки и технологий. 2017. № 3–4. С. 6–10.

3 Коробова Л.А., Курченкова Т.В., Матыцина И.А. Программная реализация нечеткой модели распознавания звуковых сигналов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Математика. Физика. 2016. Т. 43. № 13 (234). С. 174–178.

4 Абрамов Г.В., Коробова Л.А., Матыцина И.А. Разработка правил вывода при распознавании звуковых сигналов // В сборнике: Фундаментальная наука и технологии – перспективные разработки: Материалы IV международной научно-практической конференции. н.-и. ц. «Академический». 2014. С. 145.

5 Alves M., Reinach P.S., Paula J.S., e Cruz A.A.V. et al Comparison of diagnostic tests in distinct well-defined conditions related to dry eye disease // PloS one. 2014. V. 9. №. 5. P. e97921.

6 Liu X.Y., Peng X.Y., Wang S., You Q.S. et al Features of optical coherence tomography for the diagnosis of Vogt–Koyanagi–Harada disease // Retina. 2016. V. 36. №. 11. P. 2116-2123.

7 Xiao D., Vignarajan J., Chen T., Ye T., Xiao B. et al. Content Design and System Implementation of a Teleophthalmology System for Eye Disease Diagnosis and Treatment and Its Preliminary Practice in Guangdong, China // Telemedicine and e-Health. 2017. V. 23. №. 12. P. 964-975.

8 Consugar M.B., Navarro-Gomez D., Place E.M., Bujakowska K.M. et al. Panel-based genetic diagnostic testing for inherited eye diseases is highly accurate and reproducible, and more sensitive for variant detection, than exome sequencing // Genetics in Medicine. 2015. V. 17. №. 4. P. 253.

9 Wang L.J., Chang Y.C., Sun R., Li L. A multichannel smartphone optical biosensor for high-throughput point-of-care diagnostics // Biosensors and Bioelectronics. 2017. V. 87. P. 686-692.

10 Priye A., Wong S., Bi Y., Carpio M. et al. Lab-on-a-drone: toward pinpoint deployment of smartphone-enabled nucleic acid-based diagnostics for mobile health care // Analytical chemistry. 2016. V. 88. №. 9. P. 4651-4660.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Людмила А. Коробова к.т.н., доцент, кафедра информационных технологий моделирования и управления, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lyudmila_korobova@mail.ru

Татьяна В. Гладких к.т.н., доцент, кафедра информационных технологий моделирования и управления, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, gtv1113@rambler.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 19.11.2018
ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 10.12.2018

REFERENCES

1 Korobova L.A., Malienko E.S., Safonova Yu.A. development of medical expert system of disease diagnosis using elements of set theory. *Ehkonomika i menedzhment sistem upravleniya* [Economics and management of control systems]. 2017. vol. 26. no. 4.1. pp. 172–178. (in Russian)

2 Babaeva E.Yu., Korobova L.A. Use of model frames model to represent knowledge about the classification of eye diseases. *Sovremennye tendencii razvitiya nauki i tekhnologij* [Modern trends in science and technology]. 2017. no. 3–4. pp. 6–10. (in Russian)

3 Korobova L.A., Kurchenkova T.V., Matytsina I.A. Software implementation of fuzzy model of sound signals recognition. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Matematika. Fizika.* [Scientific statements of Belgorod State University. Series: Mathematics. Physics.]. 2016. vol. 43. no. 13 (234). pp. 174–178. (in Russian)

4 Abramov G.V., Korobova L.A., Matytsina I.A. development of rules for output in the recognition of sound signals. Fundamental'naya nauka i tekhnologii – perspektivnye razrabotki [In the collection: Fundamental science and technology – promising developments. Materials of the IV international scientific and practical conference. n.–i.c. "Academic"]. 2014. pp. 145. (in Russian)

5 Alves M., Reinach P.S., Paula J.S., e Cruz A.A.V. et al Comparison of diagnostic tests in distinct well-defined conditions related to dry eye disease. PloS one. 2014. vol. 9. no. 5. pp. e97921.

6 Liu X.Y., Peng X.Y., Wang S., You Q.S. et al Features of optical coherence tomography for the diagnosis of Vogt–Koyanagi–Harada disease. Retina. 2016. vol. 36. no. 11. pp. 2116-2123.

7 Xiao D., Vignarajan J., Chen T., Ye T., Xiao B. et al. Content Design and System Implementation of a Teleophthalmology System for Eye Disease Diagnosis and Treatment and Its Preliminary Practice in Guangdong, China. Telemedicine and e-Health. 2017. vol. 23. no. 12. pp. 964-975.

8 Consugar M.B., Navarro-Gomez D., Place E.M., Bujakowska K.M. et al. Panel-based genetic diagnostic testing for inherited eye diseases is highly accurate and reproducible, and more sensitive for variant detection, than exome sequencing. Genetics in Medicine. 2015. vol. 17. no. 4. pp. 253.

9 Wang L.J., Chang Y.C., Sun R., Li L. A multichannel smartphone optical biosensor for high-throughput point-of-care diagnostics. Biosensors and Bioelectronics. 2017. vol. 87. pp. 686-692.

11 Priye A., Wong S., Bi Y., Carpio M. et al. Lab-on-a-drone: toward pinpoint deployment of smartphone-enabled nucleic acid-based diagnostics for mobile health care. Analytical chemistry. 2016. vol. 88. no. 9. pp. 4651-4660.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Lyudmila A. Korobova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, informational technologies of modeling and control department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lyudmila_korobova@mail.ru

Tatyana V. Gladkikh Cand. Sci. (Engin.), associate professor, informational technologies of modeling and control department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gtv1113@rambler.ru

CONTRIBUTION

Authors equally participated in writing the manuscript and responsible for the plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 11.19.2018
ACCEPTED 12.10.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 004.942

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-90-95

Разработка автоматизированной системы управления реактором производства моторного масла

Алексей А. Кузичкин [1] ansabanyr13@yandex.ru
Юлия О. Савельева [1] savelieva_yu_ol@mail.ru
Леонид С. Кузовенков [1] kuzmich311@yandex.ru

[1] Самарский государственный технический университет, ул. Молодогвардейская, 244, Самара, 443100, Россия

Аннотация. Состояние вопроса: Соответствие современным требованиям к качеству моторных масел во многом определяется уровнем автоматизации промышленного процесса их приготовления. Существующие и реально функционирующие установки обеспечивают постоянство целевого числового показателя вязкости масла только при точном соблюдении рецептуры производства. В рецептуре определены параметры расхода базового масла и присадок, также на технологический процесс оказывает влияние температура в реакторе, время приготовления. Установки производства моторного масла рассматриваемого типа не предусматривают варьирование показателей расхода компонентов в реактор, что приводит к отклонению показателя вязкости от желаемого. Строгий контроль технологического процесса производства моторного масла позволит обеспечить: высокую стабильность продукта, хорошие пусковые свойства при низких температурах, необходимую вязкость в пределах рабочих температур. Материалы и методы: На основе опытных данных эксплуатации установки по получению моторного масла произведен системный анализ технологического процесса. Система оптимального управления разработана в программном пакете SCADA-системы Trace Mode на основе математической модели объекта исследования. Результаты: Разработана автоматизированная система управления производством моторного масла на базе Trace Mode, включающая в себя: экран настройки технологических параметров, мнемосхему технологического процесса, программу управления. Реализованная программа осуществляет управление процессом заполнения реактора базовым маслом и присадками, срабатывание сигнализации по расходу, регулирование температуры в реакторе смеси базового масла и присадок, осуществляет включение двигателя смешивающего аппарата, а также реализует таймер времени приготовления масла. Выводы: Использование моторных масел, полученных с помощью внедренной системы, поможет избежать: загрязненности двигателей, коррозийного изнашивания при использовании высокосернистых топлив, поломок механизмов и аппаратов.

Ключевые слова: моторное масло, присадки, автоматизированные системы управления, SCADA Trace Mode

Development of an automated control system for the reactor of motor oil production

Alexey A. Kuzichkin [1] ansabanyr13@yandex.ru
Julija O. Saveleva [1] savelieva_yu_ol@mail.ru
Leonid S. Kuzovenkov [1] kuzmich311@yandex.ru

[1] Samara state technical university, Molodogvardejskaya str., 244, Samara, 443100, Russia

Abstract. Background: Compliance to modern requirements to quality of motor oil to depends largely on level of automation of industrial process of their preparation. Existing and really functioning refinery processing units provide constancy of the target numerical index of the viscosity of oil only when the mix formulation of production is strictly observed. In mix formulation, the flow parameters of the base oil and additives are determined, the temperature in the reactor and the preparation time also exerts impact the technological process. Refinery processing units of production of motor oil of the type in question don't provide possible changes of flowrate of components in the reactor, which leads to a viscosity factor deviation from the desired one. Stringent control of technological process of production of motor oil provides: high stability of a product, good torque properties at low temperatures, necessary viscosity within working temperatures. Materials and methods: The system analysis of the technological process is carried out on the basis of the experimental data of operation of the unit for obtaining motor oil. The optimal control system is developed on the basis of the mathematical model of the research object in the software package of the SCADA-system Trace Mode. Results: Automated control system for the production of motor oil is developed based on Trace Mode which includes: a screen for setting technological parameters, a mnemonic diagram of the process, a control program. The realized program exercises control of process of giving in the reactor of base oil and additives, alarm on flow rate, control of the temperature of the mixture of base oil and additives in the reactor, carries out turning on of the engine of the mixing device, and also realizes the timer of preparation time of oil. Conclusions: Employment of the motor oil received by means of the embedded system will help to avoid: impurities of engines, corrosive wear when using high-sulphur fuel, breakdown.

Keywords: motor oil, additive, automated control system, SCADA Trace Mode

Введение

Все современные требования, предъявляемые к моторным маслам, не обеспечиваются природными свойствами нефтяных масел, требуется добавлять различные улучшающие их свойства присадки [1, 6].

В рамках разработки автоматизированной системы управления (АСУ) рассматривается производство моторных масел, предназначенных для смазывания деталей цилиндропоршневой группы дизелей высокой степени форсирования, работающих в сложных условиях высоких давлений и температур на тяжелом топливе.

Для цитирования

Кузичкин А.А., Савельева Ю.О., Кузовенков Л.С. Разработка автоматизированной системы управления реактором производства моторного масла // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 90–95. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-90-95

For citation

Kuzichkin A.A., Saveleva Ju.O., Kuzovenkov L.S. Development of an automated control system for the reactor of motor oil production. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 90–95. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-90-95

Существующая промышленная технология приготовления моторного масла выглядит следующим образом: в реактор с механическим перемешивающим устройством подается нагретое базовое масло, которое состоит из остаточных масел и дистиллятных компонентов, и композиция присадок, обеспечивающих маслу высокие эксплуатационные качества – противоизносные, нейтрализующие, антикоррозионные, растворяющие и моющие. После загрузки расчетного количества базового масла в реакторе включается перемешивающее устройство, а в его рубашку насосом подается теплоноситель, поддерживающий температуру. Далее в реактор закачивается расчетное количество присадок согласно рецептуре. После загрузки всех соответствующих компонентов и достижения вязкости определенного значения смесь перемешивают в течение заданного времени до получения однородной массы. Продукт выгружается из реактора и откачивается в товарный резервуар.

Недостатком данной технологии является большая вероятность отгрузки из реактора неоднородной смеси с низким качеством, это приводит к несоответствию масла современным нормам. Для повышения качества продукта целесообразно внедрить автоматизированную систему регулирования реактора, которая будет поддерживать соответствие необходимой рецептуре (количественное содержание базового масла и присадок), а также регулировать параметры вязкости и температуры внутри реактора.

Материалы и методы

Для автоматизации технологического процесса, диспетчеризации, учета ресурсов используется SCADA-система TRACE MODE. SCADA TRACE MODE – это высокотехнологичная российская программная система, первая интегрированная информационная система для управления промышленным производством [8].

В рамках разработки АСУ в TRACE MODE были реализованы:

- экран настройки технологических параметров,
- мнемосхема технологического процесса,
- программа управления.

Процесс создания графического экрана АРМ оператора заключается в последовательном размещении графических элементов с настройкой соответствующих свойств и осуществлении привязок к создаваемым в процессе аргументам шаблона экрана.

На экране настройки технологических параметров вводятся согласно регламенту приготовления масла требуемые объемы базового масла и присадок ($м^3$), а также уставки по регулируемым параметрам: температура в реакторе (°С), вязкость ($мм^2/с$) и время приготовления (мин).

В соответствии с этим на экране мнемосхемы (рисунок 1) представлены сигналы с датчиков расхода масла и присадок, температуры в реакторе, вязкости; таймер оставшегося времени приготовления, скорость двигателя перемешивающего аппарата.

Данные экрана работают совместно с программой управления.

Программа управления представляет собой реализацию регулирования, состоит из четырех блоков (рисунок 2–5), реализована на языке FBD (Function Block Diagram).

Первый блок программы (рисунок 2) реализует процесс заполнения реактора базовым маслом и присадками, исполнительными устройствами в данном случае являются клапаны.

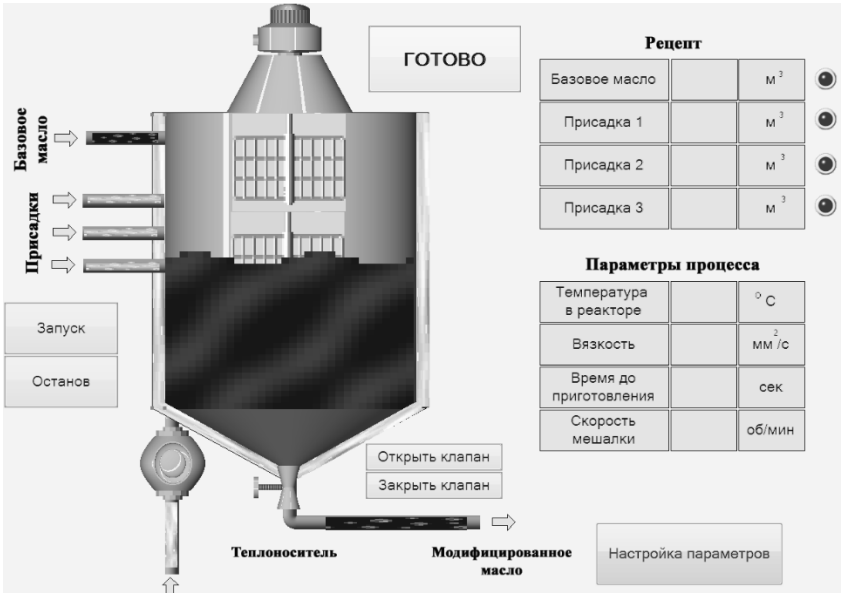


Рисунок 1. Мнемосхема процесса приготовления моторного масла

Figure 1. Mnemonic diagram of the engine oil preparation process

На вход блока «Умножение» подается сигнал запуска технологического процесса и значение объема базового масла, выходной сигнал – на вход блока «Вычитание» в качестве уменьшаемого, в качестве вычитаемого этого блока – выходной сигнал дискретного интегратора, входным параметром для которого является сигнал с датчика расхода базового масла.

Выходной сигнал дискретного интегратора – значение фактического объема базового масла в реакторе. Значение с блока «Вычитание» поступает на блок управления клапаном, куда также поступают сигналы с концевых выключателей открытия/закрытия клапанов подачи, сигнал позиции штока клапана, код, который предотвращает ошибку клапана. Выходным сигналом блока управления клапаном являются сигналы на открытие/закрытие клапана.

Аналогичным образом осуществляется процесс регулирования заполнения реактора присадками.

Второй блок программы (рисунок 3) – реализация сигнализаций, срабатывающих, если отклонение реального значения расхода присадок и базового масла от уставки больше 10%.

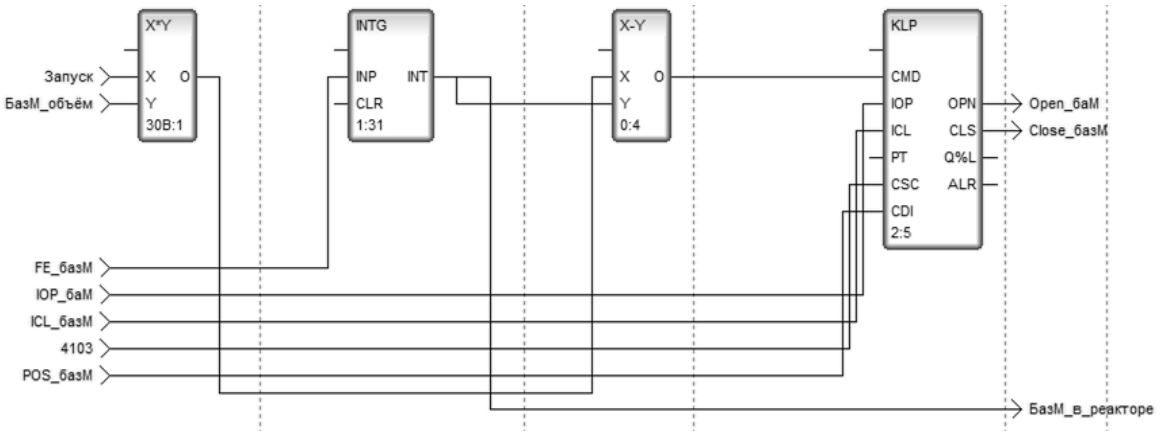


Рисунок 2. Первый блок программы управления

Figure 2. The first block of the control program

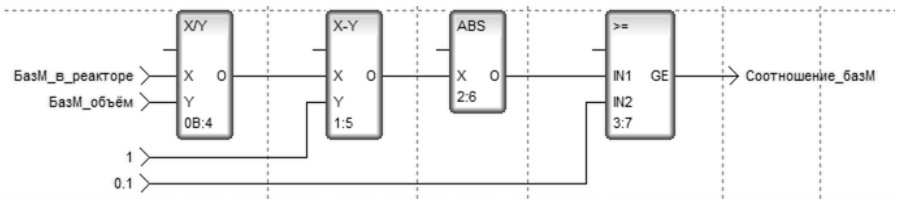


Рисунок 3. Второй блок программы управления

Figure 3. The second block of the control program

На блок «Деление» в качестве делимого подается значение фактического объема базового масла, в качестве делителя – значение уставки по объему подачи базового масла в реактор. Частное подается в качестве уменьшаемого на блок «Вычитание», вычитаемое – 1, т. е. отношение значения фактического значения к значению, которое должно быть, сравнивается со 100%. Модуль результата поступает на блок сравнения с «0,1», результат сравнения сигнализирует о несоответствии базового масла уставке.

Сигнализация при отклонении значений присадок осуществляется аналогично.

Третий блок программы (рисунок 4) реализует регулирование температуры в реакторе двигателем насоса, стоящий на подаче теплоносителя в рубашку реактора. Управление осуществляется ПИД-регулятором. Управление двигателем осуществляется с помощью преобразователя частоты (ПЧ).

В качестве уменьшаемого на блок «Вычитание» поступает результат умножения сигналов запуска технологического процесса и значения сигнала с датчика температуры в реакторе; в качестве вычитаемого – результат умножения сигналов запуска технологического процесса и значения уставки по температуре. Разность подается на вход блока PID, также вводятся коэффициенты пропорциональный, дифференциальный и интегральный составляющих для двигателя насоса подачи; максимальные и минимальные обороты в минуту двигателя. На выходе ПИД-регулятора – управляющий сигнал скорости двигателя насоса, подающего теплоноситель.

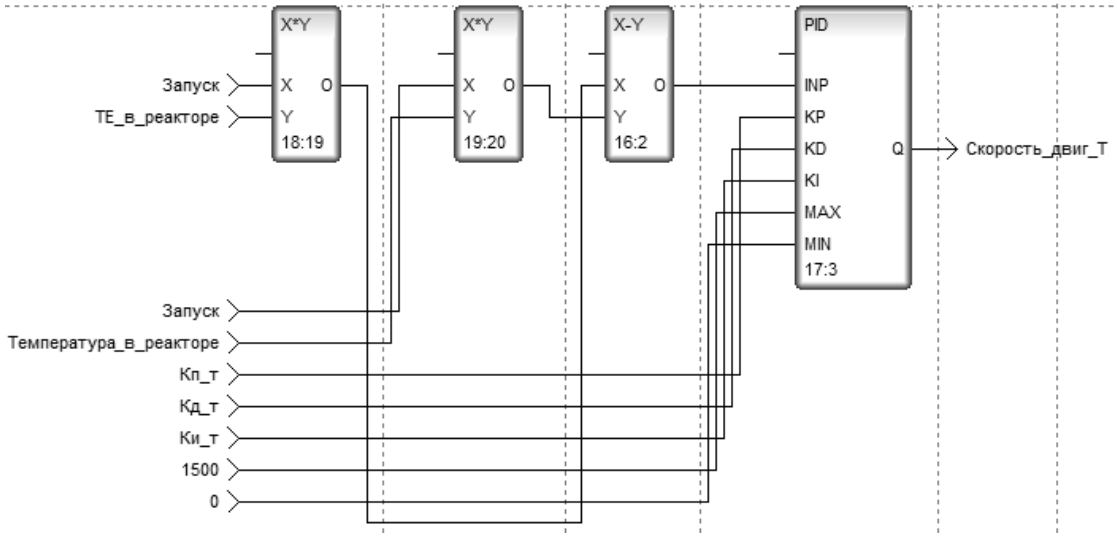


Рисунок 4. Третий блок программы управления

Figure 4. The third block of the control program

Четвертый блок программы (рисунок 5) осуществляет включение двигателя смешивающего аппарата через ПЧ, а также реализует таймер, который отсчитывает время до окончания процесса приготовления масла, сравнивая уставки по вязкости и соответствующий сигнал с датчика.

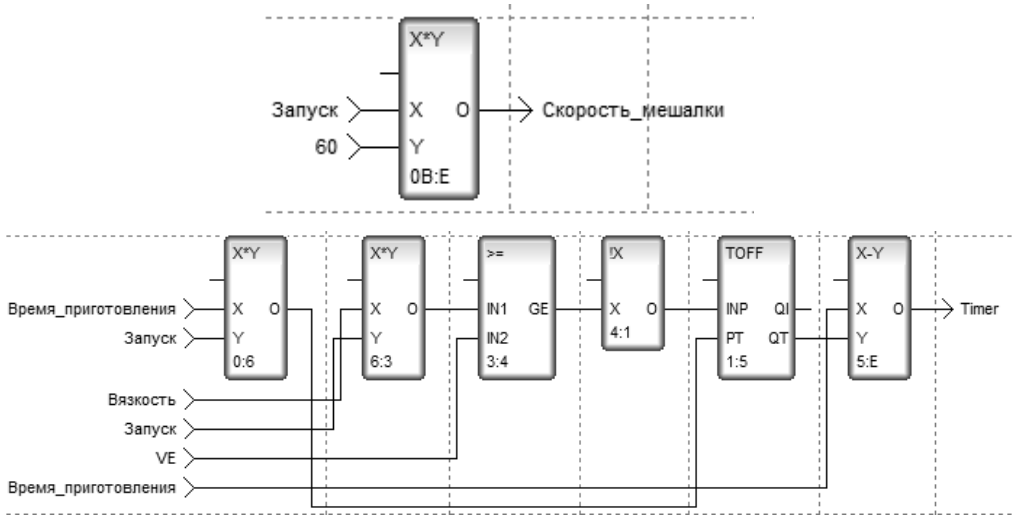


Рисунок 5. Четвертый блок программы управления

Figure 5. The fourth block of the control program

На блок «Умножение» подается сигнал запуска технологического процесса и скорость перемешивающего механизма в оборотах в минуту. Выходным сигналом является значение уставки на преобразователь частоты.

Реализация таймера следующая: на блок «Умножение» подается значение уставки по вязкости и сигнал запуска технологического процесса. Результат сравнивается с сигналом датчика вязкости смеси, логически инвертируется и поступает на вход блока задержки выключения, куда также поступает результат умножения значения времени на приготовление смеси и сигнал запуска технологического процесса. Результат в качестве вычитаемого поступает на блок вычитания, в качестве уменьшаемого – время на приготовление смеси. Разность – таймер.

Назначения параметров программы, предназначенной для управления реактором производства моторного масла, представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Назначения всех параметров программы

Table 1.

Assign all program parameters

Параметр	Описание | Description
VE	Сигнал с датчика вязкости смеси The signal from the sensor viscosity of the mixture
TE_в_реакторе	Сигнал с датчика температуры в реакторе The signal from the temperature sensor in the reactor
Timer	Таймер | Timer
Температура_в_реакторе	Уставка по температуре | Temperature set point
Вязкость	Уставка по вязкости | Viscosity set point
Время_приготовления	Время на приготовление смеси | Time to prepare the mixture
Соотношение_базМ, Соотношение_прис 1, Соотношение_прис 2, Соотношение_прис 3	Сигнализации о несоответствии базового масла и присадок уставке Alarm about the mismatch base oil and additive setpoint
БазМ_объем, Прис1_объем, Прис2_объем, Прис3_объем	Уставка по объему подачи в реактор Setting the delivery volume of the reactor
БазМ_в_реаторе, Прис1_в_реакторе, Прис2_в_реакторе, Прис3_в_реакторе	Фактические объемы каждого подаваемого элемента Actual volumes of each feed item
Запуск	Сигнал запуска технологического процесса Process start signal
Скорость_двиг_Т	Скорость двигателя насоса, подающего теплоноситель Speed of the pump motor supplying the coolant
FE _базМ, FE_прис 1, FE_прис 2, FE_прис 3	Сигналы с датчиков расхода базового масла и присадок Signals from base oil and additive flow sensors
ICL_базМ, ICL_прис 1, ICL_прис 2, ICL_прис 3	Сигналы с концевых выключателей закрытия клапанов подачи Signals from closing limit switches of supply valves
IOP_базМ, IOP_прис 1, IOP_прис 2, IOP_прис 3	Сигналы с концевых выключателей открытия клапанов подачи Signals from limit switches for opening supply valves
POS_базМ, POS_прис 1, POS_прис 2, POS_прис 3	Позиции штоков клапанов | Valve stem positions
Open_баМ, Open_прис 1, Open_прис 2, Open_прис 3	Сигналы на открытие клапанов Signals for valve opening
Close_базМ, Close_прис 1, Close_прис 2, Close_прис 3	Сигналы на закрытие клапанов Valve closing signals
Кп_т, Ки_т, Кд_т	Параметры настройки ПИД-регулятора для двигателя насоса подачи Pid setting parameters for feed pump motor
Скорость_мешалки	Уставка на преобразователь частоты The setpoint for the frequency Converter

Результаты

В результате внедрения системы будет обеспечено выполнение следующих функций:

– автоматический сбор и первичная обработка технологической информации;

– управление технологическим процессом в реальном масштабе времени;

– представление информации о состоянии технологического процесса и его параметрах в удобном для восприятия и анализа виде.

Система позволит:

– повысить точность поддержания требуемых параметров (расход исходных компонентов, температура смеси и ее вязкость внутри реактора);

– улучшить качество конечного продукта;

– уменьшить энергозатраты;

– снизить затраты на обслуживание и ремонт.

Дальнейшая реализация разработанной системы будет состоять во внедрении разработанного проекта в ПЛК.

Заключение

Техническим обоснованием оптимизации процесса, разработки модели объекта автоматизации, алгоритма управления технологическим процессом является требование к качеству моторных масел. Ввод синтезированной в данной работе АСУ позволит повысить надежность работы двигателя и его моторесурс, окажет влияние на расход топлива. Таким образом, представленная модель может быть использована для управления реактором процесса производства моторных масел.

ЛИТЕРАТУРА

1 Анисимов И.Г., Бадыштова К.М., Бнатов С.А., Богданов Ш.К. и др. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение; под ред. В.М. Школьникова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Издательский центр «Техинформ», 1999. 596 с.

2 Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. 4-е изд., перераб. и доп. СПб.: Изд-во «Профессия», 2003. 752 с.

3 Гартман Т.Н., Клушин Д.В. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов: учеб. пособие для вузов. М.: Академкнига, 2006. 416 с.

4 Глущенко И.М. Теоретические основы технологии горючих ископаемых: учебник. М.: Металлургия, 1990. 296 с.

5 Гуреев А.А., Чернышева Е.А., Коновалов А.А., Кожевникова Ю.В. Производство нефтяных битумов. М.: Нефть и газ, 2007. 103 с.

6 Данилов В.Ф., Литвиненко А.Н., Ахсанов М.М., Тимербаев Р.М. Масла, смазки и специальные жидкости. Елабуга: изд-во филиала К(П)ФУ, 2013. 216 с.

7 Денисенко А.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. М.: Горячая линия-Телеком, 2009. 608 с.

8 Официальный сайт компании AdAstra URL: http://www.adastra.ru/

9 Li Y., Liu Ch., Gao J.X., Shen W. An integrated feature-based dynamic control system for on-line machining, inspection and monitoring // Integrated Computer-Aided Engineering. 2015. V. 22. № 2. P. 187–200.

10 Kalpakjian S., Schmid S.R., Vijai Sekar K.S. Manufacturing engineering and technology. Singapore: Pearson, 2014. 1180 p.

REFERENCES

1 Anisimov I.G., Badyshtova K.M., Bnatov S.A., Bogdanov Sh.K. et al. Topliva, smazochnye materialy, tekhnicheskie zhidkosti. Assortiment i primenenie [Fuels, lubricants, technical liquids. Assortment and application]. Moscow, Publishing center "Techinform", 1999. 596 p. (in Russian)

2 Besekersky V.A., Popov E.P. Teoriya sistem avtomaticheskogo upravleniya [Theory of automatic control systems]. St. Petersburg, Publishing house "Profession", 2003. 752 p. (in Russian)

3 Gartman T.N., Klushin D.V. Osnovy komp'juternogo modelirovanija himiko-tehnologicheskih processov [Fundamentals of computer simulation of chemical-technological processes]. Moscow, Akademkniga, 2006. 416 p. (in Russian)

4 Glushchenko I.M. Teoreticheskie osnovy tekhnologii goryuchih iskopaemyh [Theoretical fundamentals of combustible technology]. Moscow, Metallurgy, 1990. 296 p. (in Russian)

5 Gureev A.A., Chernysheva E.A., Konovalov A.A., Kozhevnikova Yu.V. Proizvodstvo neftyanyh bitumov [Production of oil bitumen]. Moscow, Oil and gas, 2007. 103 p. (in Russian)

6 Danilov V.F., Litvinenko A.N., Akhsanov M.M., Timerbaev R.M. Masla, smazki i special'nye zhidkosti [Oils, lubricants and special fluids]. Yelabuga, affiliate publishing house K(P)FU, 2013. 216 p. (in Russian)

7 Denisenko A.V. Komp'juternoe upravlenie tehnologicheskim processom, jeksperimentom, oborudovaniem [Computer control of technological process, experiment, equipment]. Moscow, Hotline-Telecom, 2009. 608 p. (in Russian)

8 Oficial'nyj sajt kompanii AdAstra [The official website of the company AdAstra]. Available at: http://www.adastra.ru/ (in Russian)

9 Li Y., Liu Ch., Gao J.X., Shen W. An integrated feature-based dynamic control system for on-line machining, inspection and monitoring. Integrated Computer-Aided Engineering. 2015. vol. 22. no. 2. pp. 187–200.

10 Kalpakjian S., Schmid S.R., Vijai Sekar K.S. Manufacturing engineering and technology. Singapore, Pearson, 2014. 1180 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алексей А. Кузичкин аспирант, Самарский государственный технический университет, ул. Молодогвардейская, 244, Самара, 443100, Россия, ansabanyr13@yandex.ru

Юлия О. Савельева аспирант, Самарский государственный технический университет, ул. Молодогвардейская, 244, Самара, 443100, Россия, savelieva_yu_ol@mail.ru

Леонид С. Кузовенков аспирант, Самарский государственный технический университет, ул. Молодогвардейская, 244, Самара, 443100, Россия, kuzmich311@yandex.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 26.10.2018
ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 22.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Alexey A. Kuzichkin graduate student, Samara state technical university, Molodogvardejskaya str., 244, Samara, 443100, Russia, ansabanyr13@yandex.ru

Julija O. Saveleva graduate student, Samara state technical university, Molodogvardejskaya str., 244, Samara, 443100, Russia, savelieva_yu_ol@mail.ru

Leonid S. Kuzovenkov graduate student, Samara state technical university, Molodogvardejskaya str., 244, Samara, 443100, Russia, kuzmich311@yandex.ru

CONTRIBUTION

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.26.2018
ACCEPTED 11.22.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 004.056

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-96-110

Нормирование требований к характеристикам программных систем защиты информации

Алексей В. Скрыпников [1] skrypnikovvsafe@mail.ru
Виктор А. Хвостов [1] hvahva1@mail.ru
Елена В. Чернышова [1]
Вадим В. Самцов [1] samcovVV@mail.ru
Максим А. Абасов [1] maxAb@mail.ru

[1] Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Статья посвящена решению научной проблемы разработки теоретических основ и технологии обоснования количественных требований (норм) к программным системам защиты информации (ПСЗИ). Основой современной теории защиты информации является классификационный подход. При использовании классификационного подхода требования к ПСЗИ задаются как совокупность функциональных требований необходимых к реализации для определенного класса защищенности. При этом, понятие «эффективность защиты информации» не рассматривается. Противоречие между качественным классификационным подходом при формировании требований к ПСЗИ и необходимостью использовать их количественные характеристики при разработке автоматизированных систем (АС) в защищенном исполнении потребовали разработки нового нормативного подхода обоснования требований к защите информации. Нормативный подход основывается на системном рассмотрении проблемы, при котором проводится анализ взаимодействия элементов АС друг с другом и оценивается влияние ПСЗИ на АС в целом, а также проводится анализ поставленной цели безопасности информации (БИ). На основе анализа топологии АС, внутренних и внешних связей и потоков информации конструируется информационная структура системы. При этом, нормативный метод рассматривает полное множество угроз БИ. Угрозы БИ носят стохастический характер, являются многоэтапными и многовариантными. В свою очередь, ПСЗИ при реализации функций защиты нейтрализует угрозы БИ с некоторой вероятностью (существуют остаточные риски) и протяженностью во времени. Наличие множества угроз БИ, характеризуемых различным временем реализации, вероятностными характеристиками преодоления ПСЗИ и деструктивными возможностями, требуют нахождения норм БИ оптимизационными методами и с учетом требований минимизации влияния на эффективность автоматизированной системы.

Ключевые слова: защита информации, автоматизированная система, система защиты информации, несанкционированный доступ, информационная безопасность, ФСТЭК России.

Rationing requirements to the characteristics of software tools to protect information

Alexey V. Skrypnikov [1] skrypnikovvsafe@mail.ru
Victor A. Khvostov [1] hvahva1@mail.ru
Elena V. Chernyshova [1]
Vadim V. Samtsov [1] samcovVV@mail.ru
Maxim A. Abasov [1] maxAb@mail.ru

[1] Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The article is devoted to the solution of the scientific problem of the development of theoretical foundations and technology of substantiation of quantitative requirements (rules) for software information security (PSI). The basis of the modern theory of information security is a classification approach. When using the classification approach, the requirements for PSSS are defined as a set of functional requirements necessary for implementation for a certain class of security. At the same time, the concept of "effectiveness of information protection" is not considered. The contradiction between the qualitative classification approach in the formation of requirements for PSI and the need to use their quantitative characteristics in the development of automated systems (as) in protected execution required the development of a new normative approach to substantiate the requirements for information protection. Normative approach based on the systematic consideration of problems in which the analysis of interaction of elements as each other and the influence of PSSI on the AU in General and the analysis of the goals of security of information (BI). The information structure of the system is constructed on the basis of the analysis of the AU topology, internal and external relations and information flows. At the same time, the normative method considers the full set of BI threats. BI threats are stochastic, multi-stage and multi-variant. In turn, the NSCI in implementing protection functions neutralizes BI threats with some probability (there are residual risks) and length in time. The presence of a variety of BI threats, characterized by different time of implementation, probabilistic characteristics of overcoming PSI and destructive capabilities, require the finding of BI norms by optimization methods, based on the requirements of minimizing the impact on the efficiency of the automated system.

Keywords: information security; automated system; information security system; system effectiveness; unauthorized access; information security; FSTEC.

Для цитирования

Скрыпников А.В., Хвостов В.А., Чернышова Е.В., Самцов В.В., Абасов М.А. Нормирование требований к характеристикам программных систем защиты информации // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 96–110. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-96-110

For citation

Skrypnikov A.V., Khvostov V.A., Chernyshova E.V., Samtsov V.V., Abasov M.A. Rationing requirements to the characteristics of software tools to protect information. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 96–110. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-96-110

Введение

Современное состояние теории защиты информации можно характеризовать как противоречивое. Развитие методов и реализуемых способов защиты информации в последнее десятилетие можно характеризовать как бурное. При этом множественность аппаратных и программных платформ АС, подлежащих защите, потребовали стандартизации и унификации разнообразных методов и способов защиты информации. Стандарты и другие нормативно-распорядительные документы в рассматриваемой области в настоящее время играют роль методических документов, концентрирующих обширные знания экспертов и обобщающих существующие методы и средства обеспечения информационной безопасности. В России основой для решения задач защиты информации являются руководящие документы Федеральной службы технического и экспортного контроля (ФСТЭК) [1–3]. Задание требований в соответствии с [1–3] заключается в сопоставлении его с одним из заданных классов защищенности. Подобный подход применен в международном стандарте «Общие критерии оценки безопасности информационных технологий» ISO/IEC 15408: 1999. «Информационная технология – Методы и средства защиты информации – Критерии оценки безопасности информационных технологий» «Общие критерии» (ОК). Место класса в ОК занял профиль защиты (ПЗ) [4].

Анализ документов [1–4] показывает, что современные методы формирования требований к безопасности информации базируются на классификационном подходе. Рассматриваемый подход ориентирован на обеспечение полноты и непротиворечивости защиты информации и не рассматривает категорию **эффективность**.

Таким образом, налицо оказывается проблема, состоящая в том, что учет уровня БИ при проектировании АС не находит прямого отражения в практике при обосновании требований к ПСЗИ в методах обоснования требований, используемых в настоящее время.

Теоретический анализ

В статье проанализированы существующие методы обоснования требований к ПСЗИ и разработан нормативный метод, основанный на анализе понятия «эффективность защиты информации» и взаимосвязи системы защиты и защищаемой АС.

Причина отсутствия учета характеристик эффективности защиты информации при проектировании АС в практике в методах, используемых в настоящее время, лежит в принципиальных теоретических трудностях применения существующих методов обоснования требований к ПСЗИ, особенно из-за отсутствия механизмов полного и достоверного подтверждения качества обеспечения защиты и нормативно-методического обеспечения в области показателей и критериев. Природа этих трудностей может быть определена как противоречие между необходимостью опираться при построении АС в защищенном исполнении на строго научные методы анализа и синтеза ПСЗИ, во-первых, как методологической основы современной системотехники, а во-вторых, исходя из требований самого процесса проектирования и построения АС, и обоснованием требований, базирующихся на качественном формировании перечня требуемых к реализации функций безопасности, обеспечивающих только полноту, достаточность и непротиворечивость защиты информации и никак не связанных с категорией **эффективность**.

Разрешение рассмотренной проблемы в рамках традиционного классификационного метода невозможно. В качестве решения авторам видится необходимость разработки теоретических основ и технологии обоснования количественных требований (норм) к ПСЗИ на основе оценки эффективности защиты информации, обеспечивающих максимальный уровень защищенности при минимальном влиянии системы защиты на эффективность АС. При этом необходимо рассмотреть вопросы эффективности в условиях реализации полного множества угроз безопасности информации.

Таким образом, цель статьи – разработка и исследование нормативного метода обоснования требований к БИ АС, обеспечивающего возможность синтеза и анализа СЗИ с использованием количественных показателей и учитывающего архитектурные особенности реализации защищаемой системы в условиях реализации полного множества угроз.

Модели и методы нормативного метода обоснования требований к ПСЗИ

В обобщенном виде технологию обоснования требований к СЗИ с использованием предлагаемого нормативного метода можно представить в виде, показанном на рисунке 1.

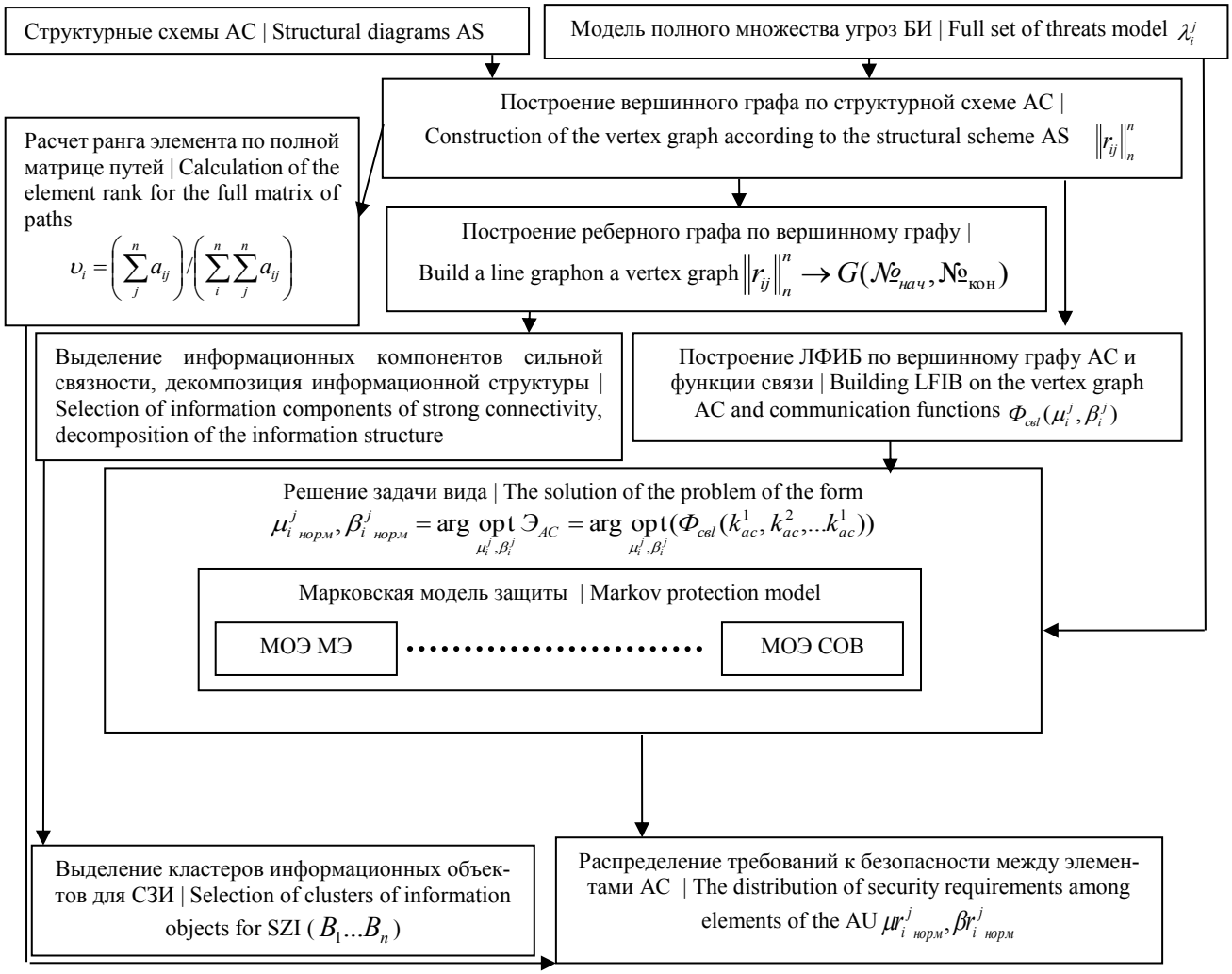


Рисунок 1. Технология обоснования требований к безопасности информации АС

Figure 1. Technology of justification of information security requirements

Решение задачи нормирования требований к БИ АС предлагается искать классическими методами теории принятия решений [5].

Примем постулат, что эффективность АС характеризуется вектором частных показателей $Q = \{Q_1, Q_2 \ldots Q_k\}$. Совокупность A альтернативных вариантов СЗИ $A = \{A_1, A_2 . A_n\}$ характеризуется множеством остаточных рисков по каждой возможной угрозе БИ, которые можно выбрать при построении АС. На выбор того или иного решения оказывают влияние объективные условия, представляемые в задачах принятия решения в виде множества возможных состояний природы $W = \{w_1, w_2 \ldots w_m, \}$, одно из которых w_i будет иметь место в действительности при реализации выбранного альтернативного варианта СЗИ, имеющего смысл варианта совокупности угроз БИ.

Для АС, эффективность которой характеризуется вектором частных показателей $\boldsymbol{Q}$, имеется совокупность $\boldsymbol{A}$ альтернативных вариантов ПСЗИ. На выбор того или иного решения оказывают влияние объективные условия, представляемые в задачах принятия решения в виде множества состояний природы $\boldsymbol{W}$, одно из которых будет иметь место в действительности при реализации выбранного альтернативного варианта. Вариант $\boldsymbol{W}$ в задаче выбора имеет смысл возможного варианта совокупности угроз БИ.

Другой фактор, влияющий на выбор альтернативы варианта ПСЗИ $\boldsymbol{A}$, – последствие принимаемого решения, являющегося числовой характеристикой эффективности автоматизированной системы, получаемой в условиях реализации угроз безопасности информации.

Другими словами, последствие есть функция, определенная на множестве альтернатив вариантов ПСЗИ (множестве вариантов остаточных рисков) и на множестве совокупности угроз БИ. Таким образом, для каждой альтернативы a_i и для каждого состояния природы w_i определим последствия в виде полезности (достижимого уровня эффективности АС, связанного, в свою очередь, с понятием эффективности ПСЗИ, т. е. $Q_{нсд}:(A*W)\overset{A\in}{\rightarrow},W\in W_{доп}R$). Значения показателей эффективности АС играют роль платежей теории игр.

Для каждого частного показателя эффективности АС можно составить матрицы платежей задачи принятия решения с m возможными вариантами построения СЗИ и n состояниями природы (совокупностями реализаций угроз БИ) с соответствующими оптимальными в смысле критерия ζ решениями $\hat{a}_k^{\zeta}$ следующего вида [5]:

$$\begin{matrix} Q_{1\text{нсд}}(a_1,w_1) & \dots & Q_{1\text{нсд}}(a_1,w_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{1\text{нсд}}(a_m,w_1) & \dots & Q_{1\text{нсд}}(a_m,w_n) \end{matrix} \overset{}{\underset{R}{\rightarrow}} \hat{a}_1^{\zeta}$$

$$\begin{matrix} Q_{2\text{нсд}}(a_1,w_1) & \dots & Q_{2\text{нсд}}(a_1,w_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{2\text{нсд}}(a_m,w_1) & \dots & Q_{2\text{нсд}}(a_m,w_n) \end{matrix} \overset{}{\underset{R}{\rightarrow}} \hat{a}_2^{\zeta}$$

$$\vdots$$

$$\begin{matrix} Q_{k\text{нсд}}(a_1,w_1) & \dots & Q_{k\text{нсд}}(a_1,w_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{k\text{нсд}}(a_m,w_1) & \dots & Q_{k\text{нсд}}(a_m,w_n) \end{matrix} \overset{}{\underset{R}{\rightarrow}} \hat{a}_k^{\zeta}$$

Выбор критериев ζ для решения задачи оптимизации для каждого показателя эффективности АС осуществляется в условиях неопределенности принятия решения (игра с природой) из-за необходимости получения норм безопасности применительно ко всем возможным условиям эксплуатации АС. То есть исходя из принципа максимизации энтропии, заключающегося в том, что в ситуациях, когда распределение вероятностей или значения вероятностей неизвестны, их задают, исходя из следующего утверждения: система находится в равновесии, когда энтропия максимальна, что соответствует полному беспорядку. То есть все возможные состояния природы равновероятны. Принцип максимизации энтропии также соответствует равновесному и наиболее вероятному состоянию системы.

При принятии решения в условиях неопределенности вероятностное распределение, соответствующее состояниям w_i, либо неизвестно, либо не может быть определено. Этот недостаток информации обусловил одновременное использование следующих критериев:

- критерия Лапласа;
- минимаксного критерия (критерий Вальда);
- критерия Сэвиджа.

Выбранные критерии отличаются по степени консерватизма в отношении неопределенности исходных данных [6–8].

Критерий Лапласа опирается на принцип недостаточного основания, сформулированный Я. Бернулли, который гласит, что, поскольку распределение вероятностей состояний неизвестно, нет причин считать их различными. Следовательно, используется оптимистическое предположение, что вероятности всех состояний природы равны между собой. Максиминный (минимаксный) критерий основан на консервативном (осторожном) отношении к неопределенности и сводится к выбору наилучшей альтернативы из наихудших альтернатив. Критерий Сэвиджа стремится смягчить консерватизм минимаксного (максиминного) критерия путем замены матрицы платежей матрицей потерь. Значение нормированных значений характеристик СЗИ из полученной совокупности оптимальных в смысле критериев ζ значений характеристик СЗИ $\hat{a}_1^{\zeta},\hat{a}_2^{\zeta}\dots\hat{a}_k^{\zeta}$, полученных для частных показателей эффективности АС $Q_{1нсд}Q_{2нсд}\dots Q_{кнсд}$, может быть получено исходя из анализа комплексного показателя эффективности АС.

При проведении синтеза множества W требуется проведение анализа множества угроз безопасности информации. При этом необходим подробный анализ наиболее полной совокупности угроз. При синтезе множества W [9] в качестве основополагающей конструкции формальной модели выступает иерархическое дерево $G=(L,E)$, где $L=\{l_i\}$ – множество вершин логического дерева реализации угрозы, $E=\{E_s\},E\in L$ – множество дуг дерева. Каждая вершина дерева G ассоциируется с каждым действием по реализации угрозы. Корень дерева обозначает конечную цель информационной атаки. Каждый вариант реализации угрозы БИ можно представить множеством возможных путей $G_p=\{g_p\}$, где каждый путь g_p представляет

собой последовательность дуг $(e_1, e_2, \ldots e_n)$, вида $e_i = (l_i, l_j), l_i \in L, l_j \in L$. При этом конечная вершина дуги l_i одновременно является начальной вершиной дуги l_{i+1}. В качестве начальной вершины пути могут выступать листья дерева G. В качестве конечной вершины – корень дерева G. Если каждой дуге дерева сопоставить параметр, имеющий смысл времени реализации действий по реализации этапа угрозы, тогда формальная модель угрозы БИ будет иметь следующий вид:

$$G = \left(L, E, \overline{T_G}\right),$$

$$L = \{l_1, l_2, \ldots l_n\},$$

$$E = ((l_0, l_1 t_{01}, l_0, l_2 t_{02}, \ldots l_i, l_j t_{ij},$$

где t_{ij} – время реализации, соответствующее дуге дерева атаки ij; T_G – среднее время реализации всего логического дерева реализации атаки.

Среднее время реализации связано со временем реализации действий по реализации этапа угрозы БИ, соотнесенного с дугой ij в соответствии со следующим математическим соотношением:

$$\overline{T_G} = \frac{1}{P} \sum_{ij \in G_P} t_{ij}$$

где P – количество путей логического дерева реализации угрозы БИ.

Построенные с использованием предложенного подхода логические деревья основных видов реализаций угроз БИ, содержащихся в [10, 11], а также расчеты с оценкой их среднего времени реализации, разработаны в [12, 13].

При проведении оценок параметров времени реализации угроз БИ в качестве исходных данных возможно использовать данные, содержащиеся в базах знаний, накапливающих информацию о реализациях угроз. Такие базы знаний ведутся ФСТЭК России и зарубежными организациями, регулирующими вопросы защиты информации (NIST, MITRE, DARPA).

Второй совокупностью исходных данных задачи нормирования требований к ПСЗИ является реакция АС на реализованные угрозы БИ (модель защиты). При разработке модели защиты использовалась заданная в явном виде в Общих критериях [4] и неявном виде в руководящих документах ФСТЭК [1, 3] модель с полным перекрытием (периметровая модель).

В основу модели защиты информации положено агрегированное представление АС. Основные элементы периметровой модели и двудольный граф реализации множества угроз БИ представлены на рисунках 2, 3.

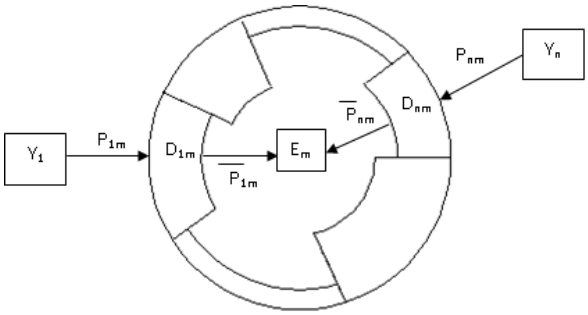


Рисунок 2. Основные компоненты периметровой модели безопасности информации

Figure 2. The main components of the perimeter security information partition

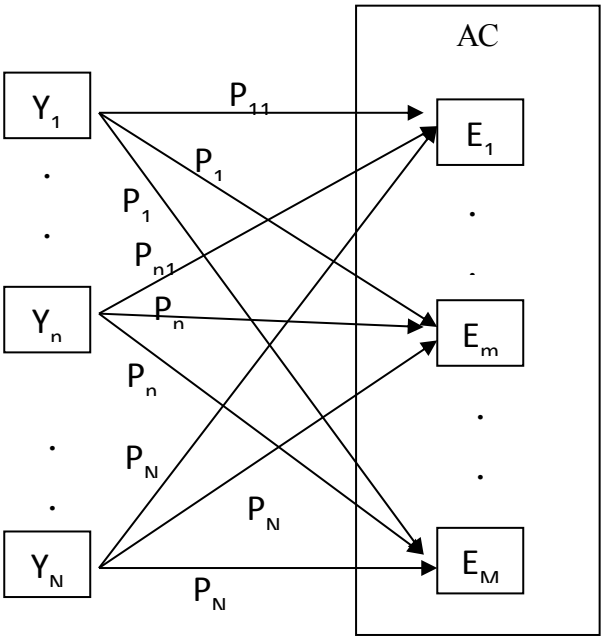
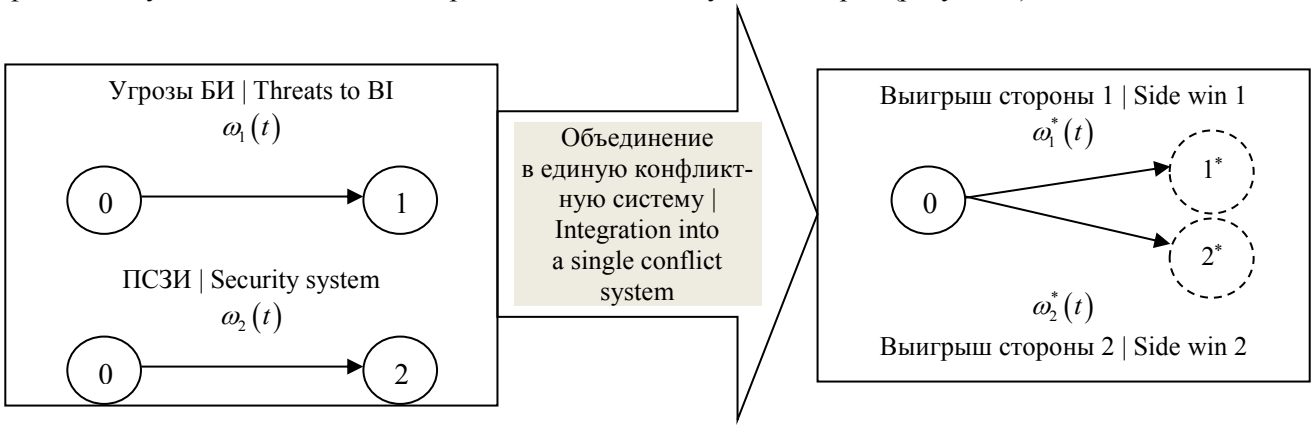


Рисунок 3. Двудольный граф реализации множества угроз БИ

Figure 3. Bipartite graph of the implementation of a variety of safety of information threats

Подробный содержательный анализ компонентов безопасности, представленных на рисунках 2, 3, проведен в [14]. Формальное описание двудольного графа, представленного на рисунке 3, можно реализовать на основе теории динамического конфликта [15]. Теория динамического конфликта в сочетании с теорией случайных процессов позволяет разрабатывать математические модели динамики функционирования сложных иерархических систем, отвечающих требованиям по адекватности и точности получаемых результатов. Основная идея построения вероятностной модели

динамического конфликта заключается в переходе от независимого описания функционирования противоборствующих сторон безусловными вероятностно-временными характеристиками (ВВХ) к описанию их взаимодействия конфликтно-обусловленными ВВХ, отражающими выигрыш одной из сторон в случае опережающего выполнения ею своей задачи. В качестве ВВХ динамического конфликта используются конфликтно-обусловленные плотности распределения вероятности (ПРВ) выигрыша конфликтующих сторон (рисунок 4).



S_1^0 – АС функционирует в режиме информационной безопасности;

S_2^0 – этап анализа сетевого трафика завершен, начало этапа – активное сканирование СВТ и их IP портов;

0 – начальное состояние процессов независимого функционирования ПСЗИ и реализации угрозы БИ;

1,2 – конечное состояние процессов независимого функционирования ПСЗИ и реализации угрозы БИ (сторона 1 (2) выполнили свою задачу);

1^*, 2^* – конечное состояние динамического конфликта, соответствующее выигрышу стороны 1, 2 (угроза БИ реализована раньше, чем ПСЗИ выполнила защитные функции, ПСЗИ выполнила защитные функции раньше, чем реализована угроза БИ);

$\omega_1(t)$, $\omega_2(t)$ – безусловные плотности распределения вероятности (ПРВ) времени реализации угрозы БИ выполнения защитных функций ПСЗИ;

$\omega_1^*(t)$ – конфликтно-обусловленная ПРВ времени реализации угрозы БИ;

$\omega_2^*(t)$ – конфликтно-обусловленная ПРВ времени выполнения защитных функций ПСЗИ

Рисунок 4. Вероятностная модель динамического конфликта ПСЗИ – угроза БИ:

Figure 4. Probabilistic model of dynamic conflict protection system – security threat:

Аналитическое решение исходной системы интегро-дифференциальных уравнений, представленных на рисунке 4, для произвольного распределения вероятностей является достаточно сложной задачей, поэтому целесообразно упрощенное рассмотрение динамической модели конфликта в марковском приближении [16, 17].

Марковская модель защиты информации в АС, разработанная на основе [9, 12, 13, 16, 17], представлена на рисунке 5.

На рисунке 5 отражены последовательные этапы реализации НСД.

Этап 1 – анализ сетевого трафика при ведении пассивной предварительной фазы НСД.

Этап 2 – активное сканирование СВТ и их IP портов.

Этап 3 – внедрение средств программно-технического воздействия на СВТ (внедрение «эксплойтов» и «руткитов»).

S_3^0 – этап активного сканирования завершен, начало этапа внедрения средств программно-технического воздействия на СВТ (внедрение эксплойтов и руткитов).

S_4^0 – достигнута цель НСД, в СВТ внедрены средства программно-технического воздействия.

S_1^1 – реализован первый способ анализа сетевого трафика, средства ЗИ от НСД не обнаружили первый способ анализа сетевого трафика.

S_1^{n+1} – средства ЗИ от НСД обнаружили первый способ анализа сетевого трафика, осуществляется его нейтрализация.

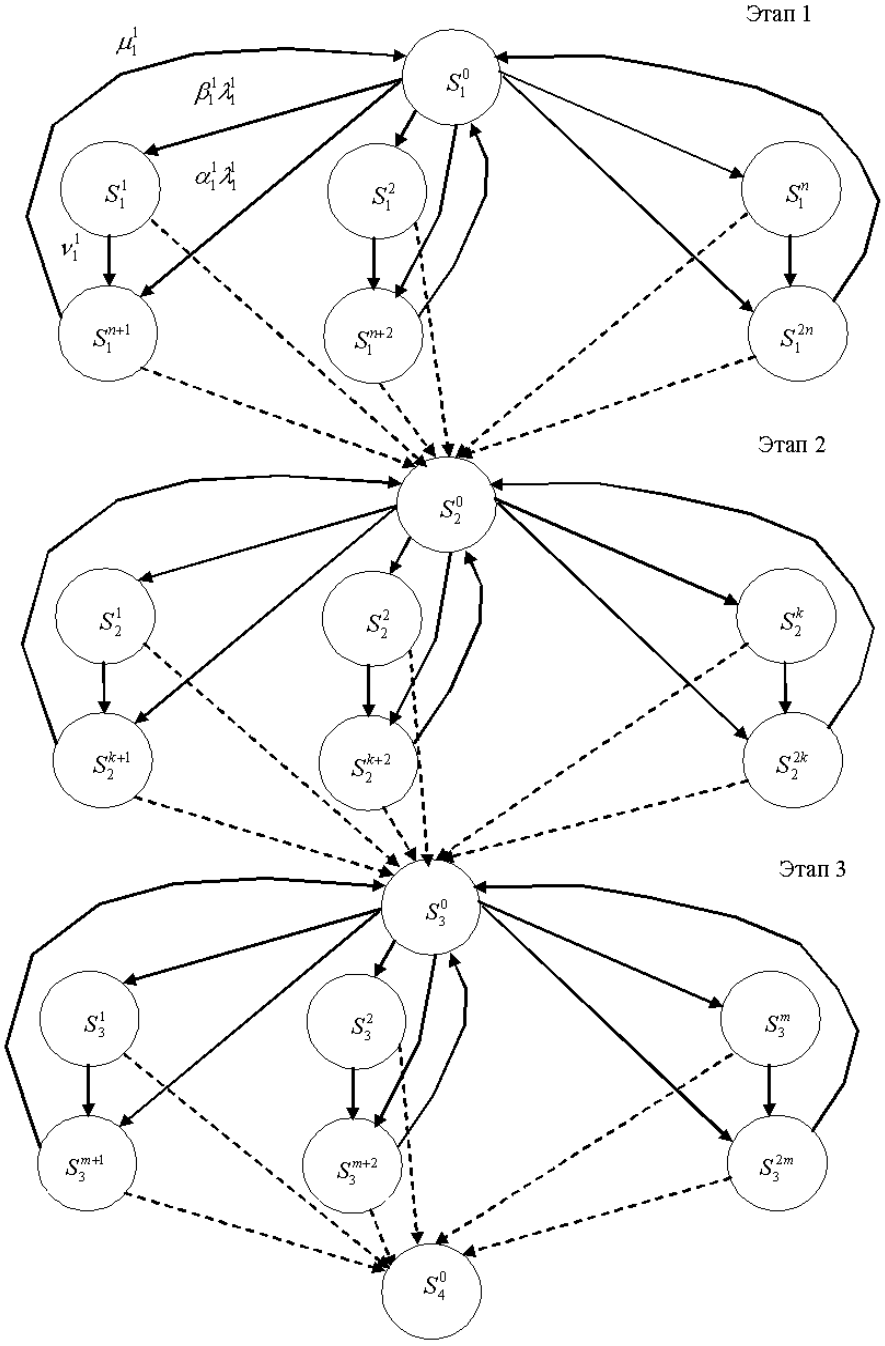


Рисунок 5. Марковская модель защиты информации в АС
Figure 5. Markov model of information safety

Состояния S_1^2, S_1^{n+2}, S_1^n, S_1^{2n} аналогичны состояниям S_1^1, S_1^{n+1} применительно ко второму способу (*n* способу анализа сетевого трафика).

Состояния S_2^1, S_2^{k+1}, S_2^2, S_2^{k+2}, S_2^k, S_2^{2k}, S_3^1, S_3^{m+1} S_3^2, S_3^{m+2}, S_3^m, S_3^{2m} аналогичны состояниям S_1^1, S_1^{n+1} применительно к 2-му и 3-му этапам НСД и k способам активного сканирования, m способам внедрения средств программно-технического воздействия на СВТ.

Переходы $S_i^{j\neq 0}$ в состояния S_i^0 являются безвременными и отражают процесс перехода к следующему этапу НСД по достижению предыдущего.

При допущении экспоненциального распределения времени перехода процесса из состояния в состояние решена система алгебраических уравнений относительно стационарных вероятностей состояний.

Результирующее математическое выражение, являющееся основой для методики комплексной оценки эффективности СЗИ,

для стационарной вероятности выполнения всех трех последовательных этапов НСД при использовании всех ν_i^j, λ_i^j возможных типовых сценариев для первого, второго и третьего этапов при всех возможных способах противодействия, характеризуемых величинами μ_i^j, β_i^j, можно записать в следующем виде:

$$P_{нсд} = P_4^0 = \prod_{i=1}^{3}(1-1/(1+\sum_{j=1}^{n,k,m}\frac{\lambda_i^j}{\mu_i^j}(1+\beta_i^j\frac{\mu_i^j}{\nu_i^j}))).$$

Параметры β_i^j, μ_i^j являются характеристиками ПСЗИ. Для определения требований к особенностям технической реализации, а также к настройке и функционированию разработаны частные методики оценки эффективности МЭ и СОВ [17–19], других средств защиты информации.

Одним из наиболее важных вопросов при применении предлагаемого нормативного метода обоснования требований к ПСЗИ является оценка влияния процессов защиты на основные процессы, протекающие в АС. Для проведения этой оценки разработана методика формализации структуры АС [20].

Структурная схема АС определяет основные функциональные части системы, их назначение и взаимосвязи. Выделяемые в системе функциональные части называются блоками. Под блоком обычно понимают устройство, функционально законченное и оформленное в виде отдельного целого.

Основными принципами выделения блоков при составлении информационно-логических схем являются возможность функционального описания АС блока и однонаправленность его действия.

Методика описания АС структурной схемы состоит в следующем [20].

1. Система разбивается на блоки, которые изображаются в виде условных символов с обозначением роли элемента в системе.

2. Информационные связи, учет которых необходим при исследовании системы, изображаются в виде линий между элементами, для которых эти связи существуют.

3. Отношения между блоками определяются обозначением направленности процессов в системе с помощью стрелок на линиях связи.

Построенная структурная схема АС формализуется следующим образом. Элементам структурной схемы АС ставят в соответствие вершины графа $X = \{x_1, x_2, ...x_n\}$. Связям между элементами ставятся в соответствие дуги графа $U = \{u_1, u_2, ...u_m\}$. В результате получается вершинный граф, отражающий структуру системы, характеризуемый матрицей смежности $\|r_{ij}\|_n^n$. Модели систем, представленные в виде вершинных графов, используются для построения и анализа информационной структуры АС, для расчета ранга элемента в структуре и для конструирования функций связи показателей информационной безопасности элементов структуры с показателями эффективности АС по прямому назначению $\Phi_{свI}(\mu_i^j, \beta_i^j)$.

Для построения информационной структуры АС используется ее реберный граф [20]. Реберные графы дают возможность сопоставить информационные свойства элементов дугам графа, а логические условия их осуществления – вершинам. Это позволяет разработать полностью формализованные методы исследования структур, описания которых могут включать любые логические функции. Основанием преобразования вершинного графа системы в реберный граф служит теорема об условиях эквивалентности матриц смежности вершинного и реберного графов.

Методика, обеспечивающая выполнение условий эквивалентности при преобразовании вершинного ориентированного графа без кратных дуг в реберный граф, включает в себя три этапа:

1) построение квазиканонической матрицы смежности реберного графа;

2) нумерация вершин реберного графа;

3) построение диаграммы реберного графа.

Полученный в результате преобразования реберный граф, эквивалентный вершинному графу $\|r_{ij}\|_n^n \to G(№_{нач}, №_{кон})$, соответствует информационной структуре АС и математически представляет собой орграф $G(№_{нач}, №_{кон})$.

При расчете ранга элемента в структуре вершинный граф является основой для определения полной матрицы путей. При этом чем большим числом путей он связан с другими элементами, тем большее число элементов прекратит правильно функционировать при нарушении БИ рассматриваемого элемента, тем больше важность данного элемента в структуре АС. Исходя из этого при нормировании требований к элементам системы большая часть заданного общего уровня безопасности АС должна быть направлена на этот элемент. Существует несколько способов построения полной матрицы путей. Наиболее простым в реализации из них является способ, основанный на использовании алгебры квазиминоров и применимый к ориентированным графам без петель и кратных дуг.

Сущность рассматриваемого способа состоит в том, что на основе матрицы смежности вершин графа $\left\| r_{ij} \right\|_n^n$ строится матрица непосредственных путей, а по ней с помощью алгебры квазиминоров находится полная матрица путей. Ранг элемента рассчитывается с использованием полной матрицы путей:

$$\upsilon_i = \left(\sum_j^n a_{ij} \right) / \left(\sum_i^n \sum_j^n a_{ij} \right),$$

где a_{ij} – элементы полной матрицы путей графа, соответствующего технической структуре АС.

Конструирование функций связи показателей информационной безопасности элементов структуры с показателями эффективности АС по прямому назначению $\Phi_{свл}(\mu_i^j, \beta_i^j)$ осуществляется логико-вероятностным методом [21]. Основная идея логико-вероятностного метода состоит в использовании математического аппарата булевой алгебры на начальной стадии анализа конструирования функции связи структурно-сложной системы. По аналогии с расчетом надежности сложной системы логико-вероятностным методом конструирование функции связи можно провести в три этапа.

Этап 1. Каждому элементу системы сопоставляется логическая переменная γ_i, принимающая два значения: 1, если элемент в состоянии безопасности, и 0, если элемент в состоянии нарушения безопасности. Затем из условий работоспособности в условиях реализации угроз к элементам АС составляется логическая функция информационной безопасности (ЛФИБ) вида $\Phi(\mathrm{Y})$, где $\mathrm{Y} = (\gamma_1, \gamma_2 \ldots \gamma_m)$ – вектор-строка логических переменных, многомерный аргумент функции. Функция $\Phi(\mathrm{Y}) = 1$, если есть хотя бы один безопасный путь от входного полюса к выходному. Путь безопасен, если безопасны все входящие в него элементы. Каждому пути в ЛФИБ соответствует элементарная конъюнкция булевых переменных, соответствующих входящим в путь элементам. ЛФИБ есть дизъюнкции всех элементарных конъюнкций, соответствующих возможным путям между входным и выходным полюсами. Полученная таким образом форма ЛФИБ является исходной.

Этап 2. Исходная форма преобразуется к одной из стандартных форм перехода к полному замещению логических переменных вероятностями, а логических операций – арифметическими.

Этап 3. В стандартной форме логической функции проводится замещение логической переменной γ_i вероятностью $p_i = P(\gamma_i = 1)$, отрицания логической переменной $\overline{\gamma_i}$ вероятностью $q_i = 1 - p_i = P(\gamma_i = 0)$, дизъюнкции $\vee$ сложением +, конъюнкции $\wedge$ умножением $\times$, логического отрицания $\neg y$ вычитанием из единицы $1 - P(\gamma = 1)$.

Подробное описание метода построения функции связи показателей информационной безопасности элементов структуры с показателями эффективности АС по прямому назначению и пример конструирования функции связи типовой АС представлены в [21].

Информационная структура АС является основой для проведения анализа в интересах выделения сильно связанных элементов – декомпозиции информационной структуры системы. При этом в информационной структуре можно выделить все составные части (подсистемы), элементы которых благодаря обратным связям взаимно достижимы. Выделение сильносвязанных и слабосвязанных информационных элементов позволяет осуществить кластеризацию информационных объектов в интересах оптимального использования СЗИ. Процесс декомпозиции информационной структуры можно формализовать сокращением ориентированного графа. Результатом декомпозиции информационной структуры АС является множество кластеров информационных объектов, характеризуемых сильной связностью $\{B_1 \ldots B_n\}$, используемых при обосновании комплекта средств защиты.

Исходные данные для проведения нормировании требований к ПСЗИ

При формировании множества вариантов состояний природы при построении в качестве исходных данных целесообразно использовать, как указывалось ранее, данные о статистических характеристиках, содержащихся в база данных компьютерных атак, ведущихся в России и различных международных организациях [22–26]. Композиция всех возможных вариантов сочетаний реализаций угроз этапов 1, 2, 3 показана на рисунке 6.

Статистические характеристики отдельных шагов по реализации угроз безопасности информации, составленные по результатам анализа баз знаний угроз безопасности информации [22], представлены в таблице 1.

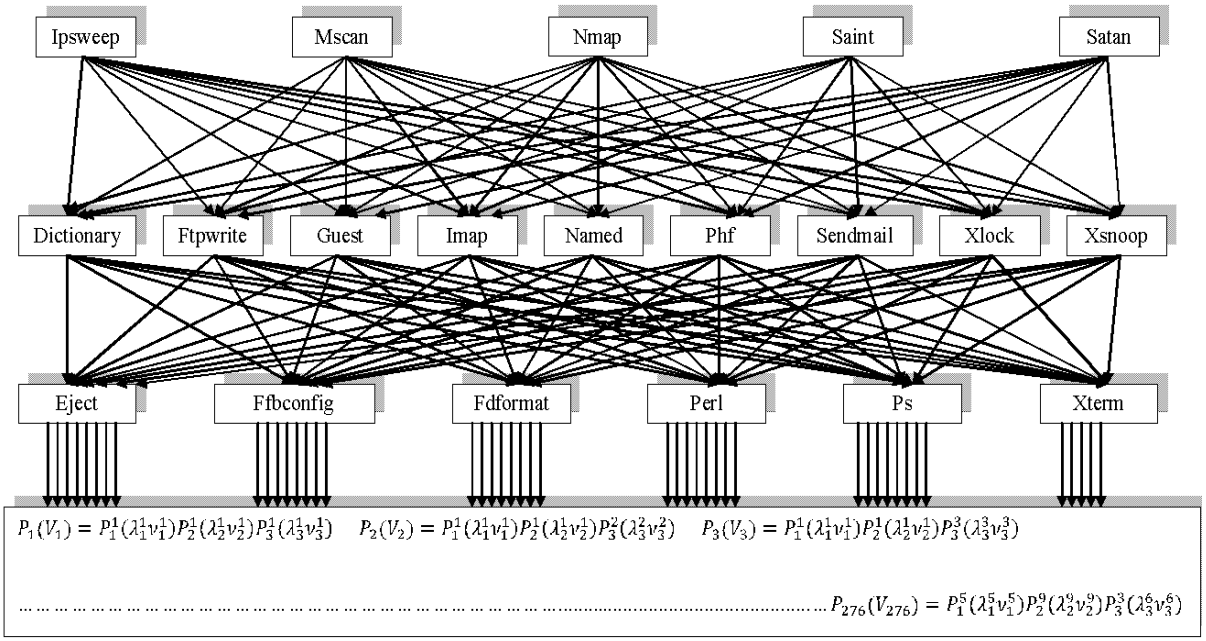


Рисунок 6. Исходные данные задачи нормирования требований к ПСЗИ

Figure 6. The initial data of the problem of standardization of information security requirements

Таблица 1.

Статистические характеристики угроз БИ по данным [22]

Table 1.

Statistical characteristics of threats to the safety of information on data [22]

Наименование атаки Name of attack	Вид параметров модели защиты Type of parameters protection models	Параметр времени реализации Parameter of time implementation v_i^j	Интенсивность реализации Intensity implementation λ_i^j
1	2	3	4
Сбор информации о топологии и принципах функционирования информационной системы (Probes)			
Ipsweep	$v_1^1 \lambda_1^1$	0.01	4,59 e-6
Mscan	$v_1^2 \lambda_1^2$	0.01	1,83 e-7
Nmap	$v_1^3 \lambda_1^3$	0.01	3,30 e-6
Saint	$v_1^4 \lambda_1^4$	0.01	3,67 e-7
Satan	$v_1^5 \lambda_1^5$	0.01	3,30 e-6
Непосредственное проникновение в информационную систему (RemotetoLocalUserAttacks)			
Dictionary	$v_2^1 \lambda_2^1$	0.001	9,18 e-7
Ftpwrite	$v_2^2 \lambda_2^2$	0.01	5,51 e-7
Guest	$v_2^3 \lambda_2^3$	0.01	7,34 e-7
Imap	$v_2^4 \lambda_2^4$	0.01	5,51 e-7
Named	$v_2^5 \lambda_2^5$	0.01	1,28 e-6
Phf	$v_2^6 \lambda_2^6$	0.01	5,51 e-7
Sendmail	$v_2^7 \lambda_2^7$	0.0001	3,67 e-7
Xlock	$v_2^8 \lambda_2^8$	0.001	3,67 e-7
Xsnoop	$v_2^9 \lambda_2^9$	0.01	3,67 e-7

Продолжение табл. 1 | Continuation of table 1

1	2	3	4
Установление контроля над информационной системой (UsertoRootAttacks)			
Eject	$\nu_3^1 \lambda_3^1$	0.001	8,45 e-6
Ffbconfig	$\nu_3^2 \lambda_3^2$	0.001	4,77 e-6
Fdformat	$\nu_3^3 \lambda_3^3$	0.001	3,49 e-6
Perl	$\nu_3^4 \lambda_3^4$	0.01	2,93 e-6
Ps	$\nu_3^5 \lambda_3^5$	0.01	7,34 e-7
Xterm	$\nu_3^6 \lambda_3^6$	0.01	5,51 e-7

Совокупность альтернативных вариантов ПСЗИ можно сформировать в виде:

$$A_1\left(\mu_1^1,\beta_1^1,\mu_1^2,\beta_1^2\ldots\mu_3^9,\beta_3^9\right);$$
$$A_2\left(\mu_1^1,\beta_1^1,\mu_1^2,\beta_1^2\ldots\mu_3^9,\beta_3^9\right);$$
$$A_{20}\left(\mu_1^1,\beta_1^1,\mu_1^2,\beta_1^2\ldots\mu_3^9,\beta_3^9\right).$$

Значения величин $\mu_1^1,\beta_1^1\ldots\mu_3^9,\beta_3^9$ перекрывают диапазон значений, соответствующий техническим характеристикам современных систем обнаружения вторжений и межсетевых экранов, и составляют:

$$\mu_j^i = 0.0003\ldots0.1;$$
$$\beta_j^i = \left\{5*10^{-5},5*10^{-6},5*10^{-7},5*10^{-8},5*10^{-9}\right\}$$

Результаты нормирования требований к ПСЗИ

В результате решения задачи нормирования требований к ПСЗИ получены значения норм (таблица 2).

Представленные в таблице 2 значения доли необнаруживаемых ПСЗИ реализаций угроз БИ j-го типа i-го этапа реализации μ_i^j и параметр экспоненциального времени нейтрализации ПСЗИ реализованной угрозы БИ β_i^j являются количественными требованиями к системе защиты. Техническая реализация ПСЗИ, а также настройка параметров функционирования (правила фильтрации межсетевых экранов, различные правила (сигнатуры) систем обнаружения вторжений, обеспечивающая достижение значений, представленных в таблице 2, обеспечивает оптимальные по критериям Лапласа, Вальда и Сэвиджа значения эффективности СЗИ при предложенной к рассмотрению в статье содержательной и статистической модели угроз ИБ. При этом значения величин μ_i^j и β_i^j можно интерпретировать как количественные значения остаточных рисков. В методах, основанных на анализе рисков Octave, RiskWatch, Cramm и др., таблица 2 может стать основой для процедуры принятия остаточных рисков. Использование критериев Лапласа, Вальда и Сэвиджа существенно расширяет возможности применения полученных норм БИ, т. к. позволяет получить нормы, отличающиеся по степени консерватизма в отношении неопределенности исходных данных в части характеристик угроз БИ в соответствии с выбранными критериями.

Таблица 2.

Результаты нормирования требований к ПСЗИ

Table 2.

End result of justification of information security requirements

Нормированный параметр ПСЗИ времени парирования угрозы БИ | Normalized parameter	Значение нормированного параметра ПСЗИ | The value of the normalized parameter	Нормированный параметр ПСЗИ вероятности парирования угрозы БИ | The normalized probability parameter of countering threat	Значение нормированного параметра ПСЗИ | The value of the normalized parameter
1	2	3	4
Нормированные требования к ПСЗИ по критерию Лапласа Normalized requirements for protection system by Laplace criterion			
μ_1^1 μ_1^2 . . μ_3^9	0.1	β_1^1 β_1^2 . . . β_3^9	$5*10^{-8}$

Продолжение табл. 2 | Continuation of table 2

1	2	3	4
Нормированные требования к ПСЗИ по критерию Вальда Normalized requirements for protection system by Wald criterion			
μ_1^1 μ_1^2 . . . μ_3^9	0.1	β_1^1 β_1^2 . . . β_3^9	$5*10^{-8}$
Нормированные требования к ПСЗИ по критерию Сэвиджа Rated protection system Requirements for Savage Criteria			
μ_1^1 μ_1^2 . . . μ_3^9	0.1	β_1^1 β_1^2 . . . β_3^9	$5*10^{-6}$

Заключение

Статья посвящена решению научной проблемы разработки теоретических основ и технологии обоснования количественных требований (норм) к ПСЗИ.

Предложенная технология обоснования количественных требований обеспечивает возможность синтеза и анализа ПСЗИ на основе использования количественных показателей эффективности решения задачи обеспечения БИ, учитывает архитектуру АС, а также особенности реализации защищаемой системы. В качестве исходных данных использовано множество реализаций угроз БИ, имеющих вероятностные и временные параметры. К достоинствам технологии можно отнести возможность учета многоэтапности и многовариантности реализации угроз БИ.

В качестве примера использования технологии обоснования количественных требований к ПСЗИ проведены расчеты и обоснованы количественные требования к ПСЗИ с использованием данных базы данных угроз безопасности информации Агентства передовых оборонных исследовательских проектов Министерства обороны США. Получены количественные требования (нормы) к характеристикам ПСЗИ (нормированный параметр ПСЗИ времени парирования угрозы БИ, нормированный параметр ПСЗИ вероятности парирования угрозы БИ) по критериям Лапласа, Вальда и Сэвиджа, позволяющие сформировать требования к ПСЗИ.

Дальнейшим направлением исследований в рамках рассмотренной научной проблемы является детализация требований к ПСЗИ с использованием анализа особенностей технической реализации межсетевых экранов, систем обнаружения вторжений и других типов ПСЗИ.

ЛИТЕРАТУРА

1 ФСТЭК РФ. Руководящий документ. Концепция защиты средств вычислительной техники и автоматизированных систем от несанкционированного доступа к информации URL: https://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty/114-spetsialnye-normativnye-dokumenty/385-rukovodyashchij-dokument-reshenie-predsedatelya-gostekhkomissii-rossii-ot-30-marta-1992-g2

2 ФСТЭК РФ. Руководящий документ. Средства вычислительной техники. Защита от несанкционированного доступа к информации. Показатели защищенности от несанкционированного доступа к информации URL: https://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/ dokumenty/114-spetsialnye-normativnye-dokumenty/384-rukovodyashchij-dokument-reshenie-predsedatelya-gostekhkomissii-rossii-ot-30-marta-1992-g

3 ФСТЭК РФ. Руководящий документ. Автоматизированные системы. Защита от несанкционированного доступа к информации. Классификация автоматизированных систем и требования по защите информации URL: https://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/ dokumenty/114-spetsialnye-normativnye-dokumenty/384-rukovodyashchij-dokument-reshenie-predsedatelya-gostekhkomissii-rossii-ot-30-marta-1992-g

4 ФСТЭК РФ. Руководящий документ. Безопасность информационных технологий. Критерии оценки безопасности информационных технологий URL: https://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty/114-spetsialnye-normativnye-dokumenty/381-rukovodyashchij-dokument

5 Макаров О.Ю., Хвостов В.А., Хвостова Н.В. Методика нормирования требований к информационной безопасности автоматизированных систем // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2010. Т.6. № 11. С. 47–51.

6 Балдин К.В., Воробьев С.Н., Уткин В.Б. Управленческие решения: учебник. 7-е изд. М.: Дашков и К, 2012. 496 с.

7 Волошин Г.Я. Методы оптимизации в экономике: учебное пособие. М.: Издательство «Дело и сервис», 2004 320 с.

8 Воробьев С.Н. Управленческие решения: Теория и технологии принятия: учебник для вузов. М.: Проект, 2004. 495 с.

9 Макаров О.Ю., Хвостов В.А., ХвостоваН.В. Метод построения формальных моделей реализации угроз информационной безопасности автоматизированных систем // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2010. Т.6. № 11. С. 22–24.

10 ФСТЭК РФ. Руководящий документ. Базовая модель угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных (выписка). ФСТЭК России, 2008 год URL: https://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty/114-spetsialnye-normativnye-dokumenty/379-bazovaya-model-ugroz-bezopasnosti-personalnykh-dannykh-pri-ikh-obrabotke-v-informatsionnykh-sistemakh-personalnykh-dannykh-vypiska-fstek-rossii-2008-god

11 ФСТЭК РФ. Руководящий документ. Методика определения актуальных угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных. ФСТЭК России, 2008 год URL: https://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty/114-spetsialnye-normativnye-dokumenty/380-metodika-opredeleniya-aktualnykh-ugroz-bezopasnosti-personalnykh-dannykh-pri-ikh-obrabotke-v-informatsionnykh-sistemakh-personalnykh-dannykh-fstek-rossii-2008-god

12 Зима В.М., Котухов М.М., Ломако А.Г., Марков А.С. и др. Разработка систем информационно-компьютерной безопасности. СПб.: Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского, 2003. 327 с.

13 Гудков С.Н., Гудкова О.И., Хвостов В.А. Модель полного множества реализаций угроз информационной безопасности в ИТКС // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т.7. № 6. С. 126–130.

14 Мельников В. Защита информации в компьютерных системах. М.: Финансы и статистика, 1997. 368 с.

15 Дружинин В.В, Конторов Д.С. Введение в теорию конфликта. М.: Радио и связь, 1989. 288 с.

16 Кисляк А.А., Макаров О.Ю., Рогозин Е.А., Хвостов В.А. Об одном способе формализации понятия стойкости функции безопасности ГОСТ ИСО/МЭК 15408 // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2009. № 2. С. 94–98.

17 Кисляк А.А., Макаров О.Ю., Рогозин Е.А., Хвостов В.А. Методика оценки вероятности несанкционированного доступа в автоматизированные системы // Информация и безопасность. 2009. № 2. С. 285–288.

18 Климов С.М. Методы и модели противодействия компьютерным атакам. Люберцы.: КАТАЛИТ, 2008. 316 с.

19 Yang J., Zhou C., Yang Sh., Xu H. et al. Anomaly detection based on zone partition for security protection of industrial cyber-physical systems // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2018. V. 65. № 5. P. 4257–4267.

20 Макаров О.Ю., Рогозин Е.А., Хвостов В.А., Коробкин Д.И. и др. Метод построения информационной структуры автоматизированной системы при нормировании требований к информационной безопасности // Вестник воронежского технического университета. 2011. № 9. С. 61–64.

21 Макаров О.Ю., Рогозин Е.А., Хвостов В.А., Коробкин Д.И. и др. Функция связи показателей информационной безопасности элементов типовой многоуровневой архитектуры web сайта с его показателями эффективности // Вестник воронежского технического университета. 2011. № 9. С. 29–32.

22 Агентство передовых оборонных исследовательских проектов Министерства обороны США URL: https://www.fbo.gov/index? s=opportunity&mode=form&id=4ebb7ba441be3ed21322ac135e528a3e&tab=core&_cview=0

23 Saltzer J.H., Schroeder M.D. Theprotection of information in computer systems // Proceedings of the IEEE. 1975. V. 63. № 9.

24 Yang Z., Cheng P., Chen J. Differential-privacy preserving optimal power flow in smart grid // IET Generation, Transmission & Distribution. 2017. V. 11. № 15. P. 3853–3861.

25 Valdevies F. A Single platform approach for the management of emergency in complex environments such as large events, digital cities, and networked regions // Internet of Things and Data Analytics Handbook. 2017. P. 643–664.

26 Guizani S. Internet-of-things (IoT) feasibility applications in information Centric Networking System // 13th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference. 2017. P. 2192–2197. doi: 10.1109/IWCMC.2017.7986623

REFERENCES

1 FSTEHK RF. Rukovodyashchij dokument. Koncepciya zashchity sredstv vychislitel'noj tekhniki i avtomatizirovannyh sistem ot nesankcionirovannogo dostupa k informacii [FSTEC RF. Guidance document. The concept of protection of computer equipment and automated systems from unauthorized access to information]. Available at: https://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty/114-spetsialnye-normativnye-dokumenty/385-rukovodyashchij-dokument-reshenie-predsedatelya-gostekhkomissii-rossii-ot-30-marta-1992-g2 (in Russian)

2 FSTEHK RF. Rukovodyashchij dokument. Sredstva vychislitel'noj tekhniki. Zashchita ot nesankcionirovannogo dostupa k informacii. Pokazateli zashchishchennosti ot nesankcionirovannogo dostupa k informaci [FSTEC RF. Guidance document. Computing facilities. Protection against unauthorized access to information. Indicators of security against unauthorized access to information]. Available at: https://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty/114-spetsialnye-normativnye-dokumenty/384-rukovodyashchij-dokument-reshenie-predsedatelya-gostekhkomissii-rossii-ot-30-marta-1992-g (in Russian)

3 FSTEHK RF. Rukovodyashchij dokument. Avtomatizirovannye sistemy. Zashchita ot nesankcionirovannogo dostupa k informacii. Klassifikaciya avtomatizirovannyh sistem i trebovaniya po zashchite informacii [FSTEC RF. Guidance document. Automated systems. Protection against unauthorized

access to information. Classification of automated systems and information security requirements]. Available at: https://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty/114-spetsialnye-normativnye-dokumenty/384-rukovodyashchij-dokument-reshenie-predsedatelya-gostekhkomissii-rossii-ot-30-marta-1992-g (in Russian)

4 FSTEHK RF. Rukovodyashchij dokument. Bezopasnost' informacionnyh tekhnologij. Kriterii ocenki bezopasnosti informacionnyh tekhnologij [FSTEC RF. Guidance document. Security information technology. Criteria for assessing the security of information technology]. Available at: https://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty/114-spetsialnye-normativnye-dokumenty/381-rukovodyashchij-dokument (in Russian)

5 Makarov O.Yu., Hvostov V.A., Hvostova N.V. Methodology of rationing requirements for information security of automated systems. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Voronezh State Technical University]. 2010. vol. 6. no. 11. pp. 47–51. (in Russian)

6 Baldin K.V., Vorob'ev S.N., Utkin V.B. Upravlencheskie resheniya [Management decisions]. Moscow, Dashkov i K, 2012.496 p. (in Russian)

7 Voloshin G.Ya. Metody optimizacii v ehkonomike [Optimization methods in economics]. Moscow, Publishing "Business and Service", 2004. 320 p. (in Russian)

8 Vorob'ev S.N. Upravlencheskie resheniya: teoriya i tekhnologii prinyatiya [Management decisions: theory and technology adoption]. Moscow, Project, 2004. 495 p. (in Russian)

9 Makarov O.Yu., Hvostov V.A., Hvostova N.V. The method of constructing formal models for the implementation of threats to information security of automated systems. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Voronezh State Technical University]. 2010. vol.6. no. 11. pp. 22–24. (in Russian)

10 FSTEHK RF. Rukovodyashchij dokument. Bazovaya model' ugroz bezopasnosti personal'nyh dannyh pri ih obrabotke v informacionnyh sis-temah personal'nyh dannyh (vypiska). FSTEHK Rossii, 2008 god [FSTEC RF. Guidance document. The basic model of threats to the security of personal data when they are processed in personal data information systems (extract). FSTEC of Russia, 2008]. Available at: https://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty/114-spetsialnye-normativnye-dokumenty/379-bazovaya-model-ugroz-bezopasnosti-personalnykh-dannykh-pri-ikh-obrabotke-v-informatsionnykh-sistemakh-personalnykh-dannykh-vypiska-fstek-rossii-2008-god (in Russian)

11 FSTEHK RF. Rukovodyashchij dokument. Metodika opredeleniya aktual'nyh ugroz bezopasnosti personal'nyh dannyh pri ih obrabotke v informacionnyh sistemah personal'nyh dannyh. FSTEHK Rossii, 2008 god [FSTEC RF. Guidance document. The method of determining the actual threats to the security of personal data during their processing in personal data information systems. FSTEC of Russia, 2008]. Available at: https://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty/114-spetsialnye-normativnye-dokumenty/380-metodika-opredeleniya-aktualnykh-ugroz-bezopasnosti-personalnykh-dannykh-pri-ikh-obrabotke-v-informatsionnykh-sistemakh-personalnykh-dannykh-fstek-rossii-2008-god (in Russian)

12 Zima V.M., Kotuhov M.M., Lomako A.G., Markov A.S. et al. Razrabotka system informacionno-komp'yuternoj bezopasnosti [Development of information and computer security systems]. St. Petersburg, Military Space Academy. A.F. Mozhaisky, 2003. 327 p. (in Russian)

13 Gudkov S.N., Gudkova O.I., Hvostov V.A. Model of a complete set of implementations of information security threats in ITKS. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Voronezh State Technical University]. 2011. vol.7. no. 6. pp. 126–130. (in Russian)

14 Mel'nikov V. Zashchita informacii v komp'yuternyh sistemah [Information security in computer systems]. Moscow, Finance and Statistics, 1997. 368 p. (in Russian)

15 Druzhinin V.V, Kontorov D.S. Vvedenie v teoriyu konflikta [Introduction to the theory of conflict]. Moscow, Radio and communication, 1989. 288 p. (in Russian)

16 Kislyak A.A., Makarov O.Yu., Rogozin E.A., Hvostov V.A. About one way to formalize the concept of the durability of the security function of GOST ISO/MEK 15408. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Voronezh State Technical University]. 2009. no. 2. pp. 94–98. (in Russian)

17 Kislyak A.A., Makarov O.YU., Rogozin E.A., Hvostov V.A. Methodology for estimating the probability of unauthorized access to automated systems. *Informaciya i bezopasnost'* [Information and security]. 2009. no. 2. pp. 285–288. (in Russian)

18 Klimov S.M. Metody I modeli protivodejstviya komp'yuternym atakam [Methods and models of countering computer attacks]. Lyubercy, KATALIT, 2008. 316 p. (in Russian)

19 Yang J., Zhou C., Yang Sh., Xu H. et al. Anomaly detection based on zone partition for security protection of industrial cyber-physical systems. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2018. vol. 65. no. 5. pp. 4257–4267.

20 Makarov O.Yu., Rogozin E.A., Hvostov V.A., Korobkin D.I. et al. The method of constructing the information structure of an automated system when rationing the requirements for information security. *Vestnik voronezhskogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Voronezh Technical University]. 2011. No. 9. pp. 61–64. (in Russian)

21 Makarov O.Yu., Rogozin E.A., Hvostov V.A., Korobkin D.I. et al. The function of communication of information security indicators of elements of a typical multi-level architecture of a web site with its performance indicators. *Vestnik voronezhskogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Voronezh Technical University]. 2011. no. 9. pp. 29–32. (in Russian)

22 Agentstvo peredovyh oboronnyh issle-dovatel'skih proektov Ministerstva oborony SSHA [Agency of Advanced Defense Research Projects of the US Department of Defense]. Available at: https://www.fbo.gov/index? s=opportunity& mode=form&id=4ebb7ba441be3ed21322ac135e528a3e&tab= core&_cview=0 (in Russian)

23 Saltzer J.H., Schroeder M.D. Theprotection of information in computer systems. Proceedings of the IEEE. 1975. vol. 63. no. 9.

24 Yang Z., Cheng P., Chen J. Differential-privacy preserving optimal power flow in smart grid. IET Generation, Transmission & Distribution. 2017. vol. 11. no. 15. pp. 3853–3861.

25 Valdevies F. A Single platform approach for the management of emergency in complex environments such as large events, digital cities, and networked regions. Internet of Things and Data Analytics Handbook. 2017. pp. 643–664.

26 Guizani S. Internet-of-things (IoT) feasibility applications in information Centric Networking System. 13th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference. 2017. pp. 2192–2197. doi: 10.1109/IWCMC.2017.7986623

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алексей В. Скрыпников д.т.н., профессор, Кафедра информационной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, skrypnikovvsafe@mail.ru

Виктор А. Хвостов к.т.н., доцент, Кафедра информационной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, hvahva1@mail.ru

Елена В. Чернышова к.т.н., доцент, кафедра информационной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Вадим В. Самцов экстерн, кафедра информационной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, samcovVV@mail.ru

Максим А. Абасов экстерн, кафедра информационной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, maxAb@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 08.10.2018
ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 09.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Alexey V. Skrypnikov Dr. Sci. (Engin.), professor, Information security department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, skrypnikovvsafe@mail.ru

Victor A. Khvostov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Information security department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, hvahva1@mail.ru

Elena V. Chernyshova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Information security department, Voronezh state university of engineering technolo-gies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Vadim V. Samtsov extern, Information security department, Voronezh state university of engineering technolo-gies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, samcovVV@mail.ru

Maxim A. Abasov extern, Information security department, Voronezh state university of engineering technolo-gies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, maxAb@mail.ru

CONTRIBUTION

Authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.8.2018
ACCEPTED 11.9.2018

Краткое сообщение/Short message

УДК

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-111-115

Многокритериальная модель процесса дробления горных пород

Юрий В. Бугаев [1] y_bugaev52@mail.ru
Людмила А. Коробова [1] lyudmila_korobova@mail.ru
Ирина С. Толстова [1] irin2102ka@mail.ru
Юлия А. Демина [1] yulechka.demina@list.ru

[1] Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. В статье говорится о модернизации и наладке процесса измельчения тонкодисперсного мела. Процесс дробления энергозатратная процедура, ежегодно тратится около 5% всей вырабатываемой на Земле энергии, в том числе энергия двигателей внутреннего сгорания. Это говорит о его большой значимости. Помимо затрат на электричество, большие расходы идут на ремонт оборудования. Наибольшие замены производятся на основные рабочие части машин. В ходе замен тратится много времени, для того, чтобы не расходовать этот довольно важный ресурс, необходимо к данной процедуре подходить с научной точки зрения. Организация и проведение исследований по замене основных рабочих частей дробилок и мельниц позволит увеличить производительность основного оборудования, улучшить качество готового продукта и уменьшить затраты на производство в плане энергосбережения. Модернизация и наладка технологического оборудование в целях усовершенствования процесса производства тонкодисперсного мела значительно увеличить срок службы основного оборудования. Для этого предлагается провести активный эксперимент. Перед проведением эксперимента, необходимо, задать модель. Классический регрессионный анализ основан на предположении, что вид модели априори задан с точностью до параметров, а также, что уже реализован эксперимент, поставляющий исходные данные для построения регрессии. Отсюда проблема сводится к выбору наилучшего метода обработки данных. В данной работе нами предлагается принципиально новый подход – автоматическое оценивание вариантов модели по комплексу показателей, в результате расчёта которого строится множество парето-оптимальных вариантов модели. Предложенный метод позволил выделить из 16384 альтернативных вариантов два наилучших. Очевидно, данный подход можно легко модифицировать для любого другого набора критериев качества регрессионной модели.

Ключевые слова: дробление, энергозатраты, регрессионный анализ, модернизация, наладка

Multicriteria model of the process of crushing rock

Yurij V. Bugaev [1] y_bugaev52@mail.ru
Lyudmila A. Korobova [1] lyudmila_korobova@mail.ru
Irina S. Tolstova [1] irin2102ka@mail.ru
Yuliya A. Demina [1] yulechka.demina@list.ru

[1] Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The article deals with the modernization and adjustment of the fine chalk grinding process. The crushing process is an energy-consuming procedure, annually spent about 5% of all energy produced on Earth, including the energy of internal combustion engines. This indicates its great importance. In addition to the cost of electricity, large expenses go to repair the equipment. The greatest replacements are made on the main working parts of machines. In the course of substitutions a lot of time is spent, in order not to spend this rather important resource, it is necessary to approach this procedure from a scientific point of view. The organization and conduct of research on the replacement of the main working parts of crushers and mills will increase the productivity of the main equipment, improve the quality of the finished product and reduce production costs in terms of energy saving. Modernization and adjustment of technological equipment in order to improve the production process of fine chalk significantly increase the service life of the main equipment. For this purpose, it is proposed to conduct an active experiment. Before carrying out the experiment, it is necessary to set the model. The classical regression analysis is based on the assumption that the model type is a priori specified with accuracy to the parameters, and that an experiment has already been implemented that supplies the initial data for the regression construction. Hence, the problem is to choose the best method of data processing. In this paper, we propose a fundamentally new approach-automatic evaluation of the model options on a set of indicators, the calculation of which is based on a set of pareto-optimal variants of the model.The proposed method made it possible to identify two best alternatives out of 16384. Obviously, this approach can be easily modified for any other set of regression model quality criteria.

Keywords: crushing, energy consumption, regression analysis, modernization, adjustment.

Введение

Установлено, что на процесс дробления ежегодно тратится около 5% всей вырабатываемой на Земле энергии, в том числе энергия двигателей внутреннего сгорания. Этот большой процент в общем энергетическом балансе показывает значимость использования процедур дробления [5]. Наибольшая сложность в процессе измельчения, например, мела –увеличенные затраты на электроэнергию.

Для цитирования
Бугаев Ю.В., Коробова Л.А., Толстова И.С., Демина Ю.А. Многокритериальная модель процесса дробления горных пород // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 111–115. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-111-115

For citation
Bugaev Yu.V., Korobova L.A., Tolstova I.S., Demina Yu.A. Multicriteria model of the process of crushing rock. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 111–115. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-111-115

Помимо затрат на электричество, довольно большие расходы идут на ремонт оборудования. Дробилки и мельницы не являются быстросменяемыми машинами. Наибольшие замены приходятся на основные рабочие части машин. В ходе замен тратится много времени. Для того чтобы не расходовать этот довольно важный ресурс, необходимо к данной процедуре подходить с научной точки зрения [6-11].

Организация и проведение исследований по замене основных рабочих частей дробилок и мельниц позволит увеличить производительность основного оборудования, улучшить качество готового продукта и уменьшить затраты на производство в плане энергосбережения. Модернизация и наладка технологического оборудование в целях усовершенствования процесса производства тонкодисперсного мела значительно увеличить срок службы основного оборудования. Для этого предлагается провести активный эксперимент. Перед проведением эксперимента необходимо задать модель.

Основная часть

Классический регрессионный анализ основан на предположении, что вид модели априори задан с точностью до параметров, а также что уже реализован эксперимент, поставляющий исходные данные для построения регрессии. Отсюда проблема сводится к выбору наилучшего метода обработки данных. Однако камнем преткновения, является неопределённость в выборе структуры регрессионной модели. Обычно в качестве аппроксимирующей используются функции либо легко вычисляемые, либо подходящие по физическому смыслу задачи. Например, если описывается некоторый периодический процесс (звуковые колебания или иные схожие явления), то естественно искать модель среди тригонометрических функций. Часто при аппроксимации используется многочлен. Вторая проблема состоит в репрезентативном выборе множества независимых переменных. В итоге существуют две противоположные тенденции для выбора окончательного уравнения.

1. Желание сделать уравнение максимально полезным и надёжным для прогноза принуждает нас включать в него как можно больше переменных.

2. Ограничения, связанные с затратами при получении и контроле информации, а также нежелательные эффекты, связанные с «перепараметризацией» модели, заставляют нас максимально упростить модель.

Приведённые соображения свидетельствуют о том, что окончательный выбор структуры уравнения регрессии является весьма непростой и трудоёмкой задачей. Большинство эффективных методов, подтверждённых многолетней практикой построения наилучшей модели, описано в классической монографии Н. Дрейпера и Н. Смита [1].

1. Метод К-подмножества [2]. Рассчитываются три критерия качества модели: коэффициент детерминации R^2, остаточный средний квадрат s^2, и C_p–статистика Маллоуза, но выбор наилучшего варианта производится на основе какого-то одного показателя.

2. Метод исключения. Исключение производится на основе минимального значения критерия Стьюдента для соответствующего члена модели.

3. Шаговый регрессионный метод. Шаги производятся в обратном направлении по отношению к методу исключения, т. е. последовательно включая члены.

4. Комбинации перечисленных методов.

5. ПРЕСС-процедура Д.М. Аллена [3], представляющая собой вариант метода всех регрессий.

В качестве оценки эффективности методов можно высказать следующее.

Метод 1 перебирает значительное число вариантов, и, видимо, является наиболее надёжным, но его недостаток в том, что выбор основан на одном показателе, который в любом случае лишь частично характеризует модель. Прочие методы используют ручной перебор, а значит – сокращённый. Поэтому нет гарантии, что был рассмотрен лучший вариант. Кроме того, высока их трудоёмкость.

Выбор наилучшей модели затруднён тем, что её эффективность можно оценивать по многим критериям, число которых может доходить до нескольких десятков. Весьма типичным является случай, когда эти показатели находятся в конфликте, иными словами, модель, лучшая по одним показателям, не является таковой по другим.

Обсуждение

В данной работе нами предлагается принципиально новый подход – автоматическое оценивание вариантов модели по комплексу показателей, в результате расчёта которого строится множество Парето-оптимальных вариантов модели.

Рассмотрим этот подход на примере построения модели, оценивающей качество работы дробилки мела, широко используемой в производстве строительных материалов.

В качестве выходного параметра используем производительность дробилки, в качестве входных факторов:

1) X_1 – зазор между бронью и молотком (5–15 мм);

2) X_2 – число оборотов двигателя (1500–2000 об/мин);

3) X_3 – твердость материала лопаток в зависимости от марки сплава (40–60);

4) X_4 – средний размер исходного сырья (40–200 мм).

Априори была выбрана квадратичная модель. Вопрос вызывает только присутствие в ней того или иного парного произведения факторов. В качестве плана эксперимента был взят модифицированный план B_4 [4], в котором добавили одну экспериментальную точку в центре плана. Это было сделано для улучшения характеристики по величине дисперсии МНК-прогноза в центральной части области планирования. В безразмерном виде матрица плана имела вид:

№	X_1	X_2	X_3	X_4	Y_1	Y_2	Y_3
1	-1	-1	-1	-1	24,6	22,4	23,1
2	1	-1	-1	-1	25,8	24,5	25
3	-1	1	-1	-1	14,2	14	14,7
4	1	1	-1	-1	22,7	22,7	22,1
5	-1	-1	1	-1	25,1	23,1	23,8
6	1	-1	1	-1	25,2	24,8	25
7	-1	1	1	-1	14,8	15,7	13,8
8	1	1	1	-1	22,7	23,6	23,2
9	-1	-1	-1	1	23	22,4	23
10	1	-1	-1	1	24,4	22,7	22,1
11	-1	1	-1	1	16,4	17	15,6
12	1	1	-1	1	24,5	22,4	23,8
13	-1	-1	1	1	23	22,5	23,3
14	1	-1	1	1	23,4	23	24,8
15	-1	1	1	1	16,4	15,9	15,9
16	1	1	1	1	23,4	24	24,2
17	-1	0	0	0	22,7	22,3	22,4
18	1	0	0	0	28,4	27,4	27,3
19	0	-1	0	0	26,6	28,1	27,2
20	0	1	0	0	23,7	22,6	22,7
21	0	0	-1	0	25,4	25	25,3
22	0	0	1	0	24,7	24,7	24,9
23	0	0	0	-1	26,3	25,4	26
24	0	0	0	1	26,1	25,7	25,3
25	0	0	0	0	25,8	26,4	26,1

В качестве исходных параметров модели задавалось m – максимальное число предикторных (независимых) переменных и n – максимальная степень многочлена, соответствующего уравнению регрессии. При таких данных максимальное количество коэффициентов модели, включая свободный член, определяется числом n-сочетаний с повторениями из $(m + 1)$ предметов и равно $K = C^n_{m+n}$. Соответственно общее число рассматриваемых моделей при условии присутствия в каждой формуле свободного члена равно $M = 2^K - 1$. Для рассматриваемого примера $K = 15$, а $M = 16384$.

Каждый вариант модели оценивался по следующим критериям:

- дисперсия адекватности $s^2_{\text{АДЕКВ}} = \frac{L}{N-k}\sum_i (\hat{y}_i - y_i)$,

оценивающая среднее отклонение расчётных значений откликов от средних по параллельным опытам;

- расчётное значение критерия Фишера $F^{ВЫЧ}_{ЭФФ} = \frac{Q_{\text{РЕГР}}/(k-1)}{Q_{\text{ОСТАТ}}/(N-k)}$,

оценивающее эффективность модели;

- величина отношения $k^{\text{ЭФФ}} = \frac{F^{\text{ВЫЧ}}_{ЭФФ}}{F^{КРИТ}}$,

показывающая превышение расчётного значения критерия Фишера над его граничным значением;

- коэффициент адекватности, равный 0, если модель статистически адекватна согласно критерию Фишера и 1 в противном случае;

- U-доля значимых по Стьюденту коэффициентов среди присутствующих в данном варианте модели.

Кроме того, для поддержки окончательного выбора наилучшего варианта рассчитывались следующие вспомогательные показатели:

- расчётные значения критерия Стьюдента для каждого коэффициента для оценки его значимости;

- расчётное значение критерия Фишера $F^{ВЫЧ}_{АДЕКВ} = \frac{s^2_{\text{АДЕКВ}}}{s^2_{\text{ВОСПР}}}$ для оценки статистической адекватности модели;

- расчётное значение критерия Кохрена для проверки однородности точечных дисперсий $s^2_i = \frac{1}{L-1}\sum_j (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$;

- величина дисперсии воспроизводимости $s^2_{\text{ВОСПР}} = \frac{1}{N}\sum_i s^2_i$.

На основании анализа каждого уравнения программа оптимизации по Парето выбрала два нехудших варианта, которые в безразмерных переменных имеют вид:

$$Y1 = 26.42486 + 2.259259X1 - 2.207407X2 - 1.395669X1^2 + 1.739583X1X2 - 0.2020833X1X4 - 1.329002X2^2 + 0.6270833X2X4 - 1.479002X3^2 - 0.6790019X4^2,$$

$$Y2 = 26.42486 + 2.259259X1 - 2.207407X2 + 0.1129629X3 - 1.395669X1^2 + 1.739583X1X2 - 0.2020833X1X4 - 1.329002X2^2 + 0.6270833X2X4 - 1.479002X3^2 - 0.6790019X4^2.$$

Заключение

Таким образом, предложенный метод позволил выделить из 16 384 альтернативных вариантов два наилучших. Очевидно, данный подход можно легко модифицировать для любого другого набора критериев качества регрессионной модели.

ЛИТЕРАТУРА

1 Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Книга 2. М.: Финансы и статистика, 1987. 351 с.

2 Furnival G.M., Wilson R.W. Regressijn dy leaps and bounds // Technometrics. 1974. № 16. P. 499–511.

3 Allen D.M. The prediction sum of squares as a criterion for selecting predictor variables // University of Kentucky, Department of Statistics, Technical Report. 1971. № 23.

4 Хартман К., Лецкий Э., Шеффер В. и др. Планирование экспериментов в исследовании технологических процессов. М.: Мир, 1977. 552 с.

5 Коробова Л.А., Толстова И.С., Лихушин А.П., Демина Ю.А. Алгоритм выбора дробильного оборудования для измельчения мела // Моделирование энергоинформационных процессов: сборник материалов IV и V Международных научно-практических интернет-конференций. 2017. С. 263–267.

6 Коробова Л.А., Толстова И.С., Демина Ю.А. Наладка технологического оборудования // Аллея науки. 2018. Т. 3. № 8 (24). С. 728–732.

7 Kuriakose S., Shunmugam M.S. Multi-objective optimization of wire-electro discharge machining process by non-dominated sorting genetic algorithm // Journal of materials processing technology. 2005. V. 170. № 1–2. P. 133–141.

8 Queipo N.V., Haftka R.T., Shyy W., Goel T. et al. Surrogate-based analysis and optimization // Progress in aerospace sciences. 2005. V. 41. № 1. P. 1–28.

9 Amanifard N., Nariman-Zadeh N., Borji M., Khalkhali A. et al. Modelling and Pareto optimization of heat transfer and flow coefficients in microchannels using GMDH type neural networks and genetic algorithms // Energy Conversion and Management. 2008. V. 49. № 2. P. 311-325. doi: 10.1016/j.enconman.2007.06.002

10 Zhang Y.P., Zhang Y.J., Gong W.J., Gopalan A.I. et al. Rapid separation of Sudan dyes by reverse-phase high performance liquid chromatography through statistically designed experiments // Journal of Chromatography A. 2005. V. 1098. №. 1–2. P. 183-187. doi: 10.1016/j.chroma.2005.10.024

11 Tarapata Z. Selected multicriteria shortest path problems: An analysis of complexity, models and adaptation of standard algorithms // International Journal of Applied Mathematics and Computer Science. 2007. V. 17. № 2. P. 269–287.

REFERENCES

1 Draper N., Smith G. Prikladnoj regressionnyj analiz. Kniga 2 [Applied Regression Analysis. Book 2]. Moscow, Finance and Statistics, 1987. 351 p. (in Russian)

2 Furnival G.M., Wilson R.W. Regressijn dy leaps and bounds. Technometrics. 1974. no. 16. pp. 499–511.

3 Allen D.M. The prediction sum of squares as a criterion for selecting predictor variables. University of Kentucky, Department of Statistics, Technical Report. 1971. no. 23.

4 Hartman K., Letsky E., Scheffer V. et al. Planirovanie ehksperimentov v issledovanii tekhnologicheskih processov [Planning of experiments in the study of technological processes]. Moscow, Mir, 1977. 552 p. (in Russian)

5 Korobova L.A., Tolstova I.S., Lihushin A.P., Demina Yu.A. Algoritm vybora drobil'nogo oborudovaniya dlya izmel'cheniya mela [Modeling of energy-information processes: a collection of materials of the IV and V International Scientific and Practical Internet Conferences]. 2017. pp. 263–267. (in Russian)

6 Korobova L.A., Tolstova I.S., Demina Yu.A. Adjustment of technological equipment. *Alleya nauki* [Alley of science]. 2018. vol. 3. no. 8 (24). pp. 728–732. (in Russian)

7 Kuriakose S., Shunmugam M.S. Multi-objective optimization of wire-electro discharge machining process by non-dominated sorting genetic algorithm. Journal of materials processing technology. 2005. vol. 170. no. 1–2. pp. 133–141.

8 Queipo N.V., Haftka R.T., Shyy W., Goel T. et al. Surrogate-based analysis and optimization. Progress in aerospace sciences. 2005. vol. 41. no. 1. pp. 1–28.

9 Amanifard N., Nariman-Zadeh N., Borji M., Khalkhali A. et al. Modelling and Pareto optimization of heat transfer and flow coefficients in microchannels using GMDH type neural networks and genetic algorithms. Energy Conversion and Management. 2008. vol. 49. no. 2. pp. 311-325. doi: 10.1016/j.enconman.2007.06.002

10 Zhang Y.P., Zhang Y.J., Gong W.J., Gopalan A.I. et al. Rapid separation of Sudan dyes by reverse-phase high performance liquid chromatography through statistically designed experiments. Journal of Chromatography A. 2005. vol. 1098. no. 1–2. pp. 183–187. doi: 10.1016/j.chroma.2005.10.024

11 Tarapata Z. Selected multicriteria shortest path problems: An analysis of complexity, models and adaptation of standard algorithms. International Journal of Applied Mathematics and Computer Science. 2007. vol. 17. no. 2. pp. 269–287.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Юрий В. Бугаев д.ф-м.н., профессор, Кафедра высшей математики и информационных технологий, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, y_bugaev52@mail.ru

Людмила А. Коробова к.т.н., доцент, Кафедра высшей математики и информационных технологий, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lyudmila_korobova@mail.ru

Ирина С. Толстова ст. преподаватель, Кафедра высшей математики и информационных технологий, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, irin2102ka@mail.ru

Юлия А. Демина студент, Кафедра высшей математики и информационных технологий, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, yulechka.demina@list.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 22.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 07.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Yurij V. Bugaev Dr. Sci. (Phys.-Math.), professor, higher mathematics and information technology department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, y_bugaev52@mail.ru

Lyudmila A. Korobova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, higher mathematics and information technology department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lyudmila_korobova@mail.ru

Irina S. Tolstova senior lecturer, higher mathematics and information technology department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, irin2102ka@mail.ru

Yuliya A. Demina student, higher mathematics and information technology department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, yulechka.demina@list.ru

CONTRIBUTION

All authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.22.2018

ACCEPTED 11.7.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 004.5

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-116-127

Модель для повышения надежности систем безопасности в технологических процессах опасных производств

Александр С. Суровцев [1] alexander.surovtsev.vrn@gmail.com
Игорь А. Авцинов [1] igor.awtzinov@yandex.ru
Ярослав А. Туровский [2,3] yaroslav_turovsk@mail.ru
Сергей В. Борзунов [2] sborzunov@gmail.com

[1] Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
[2] Воронежский государственный университет, Университетская пл., 1, г. Воронеж, 394018, Россия
[3] Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН, Профсоюзная ул., 65, г. Москва, 117342, Россия

Аннотация. В статье рассмотрена проблема обеспечения безопасности в технологических процессах, заключающаяся в снижении вероятности возникновения аварий. Предложена классификация состояний технологического процесса, с точки зрения системы предотвращения аварий. Набор таких состояний состоит из: нормального функционирования, предаварийного, аварийного и аварии. Состояние нормального функционирования и предаварийное состояние предполагает отсутствие необратимых изменений в технологическом процессе. Рассматривается случай, когда от оператора требуется сформировать управленческие действия, направленные на стабилизацию технологического процесса, когда технологический процесс находится в предаварийном состоянии. Показан пример диаграммы потока данных технологического процесса, который включает в себя помимо стандартных компонентов также и человека-оператора, системы отслеживания и системы ручного и автоматического управления. Используя диаграмму, определена последовательность этапов, которые происходят при переводе технологического процесса из предаварийного состояния в состояние нормального функционирования. Предложен способ оценки возможности перевода технологического процесса из предаварийного состояния в нормальное функционирование. Это способ заключается в оценке временных соотношений между доступным и необходимым для стабилизации системы. Время, необходимое на стабилизацию, складывается из временной задержки измерительного прибора, латентного времени оператора и времени отклика исполнительного механизма. Время задержки измерительного прибора и время отклика исполнительного механизма определяются условиями технологического процесса. Разработана модель оценки латентного времени человека, основанная на законе «сила-длительность». Выполнено исследование краевых случаев формулы оценки доступного и необходимого времени. Проведено имитационное моделирование, по результатам которого была выполнена оценка путей оптимизации технологического процесса с целью повышения надежности системы безопасности.

Ключевые слова: контроль деятельности человека-оператора, моделирование времени отклика, имитационное моделирование

Model for improving the reliability of safety systems in the technological processing of hazardous industries

Alexander S. Surovtsev [1] alexander.surovtsev.vrn@gmail.com
Igor A. Awtzinov [1] igor.awtzinov@yandex.ru
Yaroslav A. Turovsky [2,3] yaroslav_turovsk@mail.ru
Sergei V. Borzunov [2] sborzunov@gmail.com

[1] Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
[2] Voronezh state university, Universitetskaya sq., 1, Voronezh, 394018, Russia
[3] Institute of Management Problems V.A. Trapeznikova of the Russian Academy of Sciences, Profsoyuznaya st., 65, Moscow, 117342, Russia

Abstract. The problem of safety provisioning in technological processes, which aims the reducing the probability of accidents is considered. Classification of technological process states from the point of view of accident prevention system is offered. The set of such states consists of: normal functioning, pre-emergency, emergency and accident. The state of normal functioning and pre-emergency state assume the absence of irreversible changes in the technological processes. It is considered the case when the operator has to form some management actions which are aimed to stabilize the process, when the process is in the pre-accident state. It is shown an example of a data flow diagram, which includes also the human operator, the tracking system, and the system of manual and automatic control in additional to the standard components of such systems. By using the data flow diagram, it is defined the sequence of stages which occur when the process in transferred from the pre-emergency states to the state of normal operation. A method for assessing the possibility of transferring a technological process from a pre-emergency state to a normal operating in proposed. This method consists in estimating the time relation between the available and the necessary for stabilization of the system. The time required for stabilization consists of the time delay of the measuring device, the latency of the operator and the response time of the actuator. The delay time of the measuring device and the response time of the actuator are determined by the conditions of the technological process. The model for estimating the latency of the person is based on the law “force-time” is developed. A study of the boundary cases of the formula for estimating the available and the necessary time is carried out. Stimulation modelling is conducted, which results are used to estimating the ways of optimizing the technological process in order to improve the reliability of the accident prevention system.

Keywords: control of human-operator activity, response time modelling, stimulation modelling

Для цитирования

Суровцев А.С., Авцинов И.А., Туровский Я.А., Борзунов С.В. Модель для повышения надежности систем безопасности в технологических процессах опасных производств // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 116–127. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-116-127

For citation

Surovtsev A.S., Awtzinov I.A., Turovsky Ya.A., Borzunov S.V. Model for improving the reliability of safety systems in the technological processing of hazardous industries. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 116–127. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-116-127

Введение

В настоящее время существует множество технологических процессов, нарушение которых может привести к авариям. Последствия аварий нередко несут серьезный вред как работникам, поддерживающих работу данного процесса, так и окружающей среде. Примером такого процесса может служить полимеризация бутадиена, толуола, циклогексана и других токсичных химических соединений.

Ряд технологических процессов функционирует под управлением систем автоматизированного управления (АСУ). До возникновения аварии состояние технологического процесса можно представить следующим набором: нормальное функционирование, предаварийное состояние, аварийное состояние и авария. Под предаварийным состоянием в данном случае понимается такое функционирование системы, при котором не начались необратимые изменения. Аварийное состояние рассматривается как функционирование системы, при котором предполагается, что необратимые изменения имеют место. Нередко технологическую систему можно привести в состояние нормального функционирования из предаварийного, аварийного или состояния аварии. Величина ущерба складывается, по меньшей мере, из вреда людям и окружающей среде и величины экономического ущерба. АСУ, помимо поддержания технологического процесса в состоянии нормального функционирования, могут выполнять и часть функции по обеспечению безопасности при угрозе возникновения аварии. Обеспечение безопасности должно происходить с учетом величины возможного вреда. То есть потенциально высокая величина ущерба может стать причиной задействования крайних мер для обеспечения безопасности. В таком случае крайние меры могут нести некоторый ущерб, но величина этого ущерба ожидается меньшей, чем от угрозы, на устранение которой они направлены. Поэтому повышение надежности функций безопасности систем АСУ нередко достигается путем того, что человеку-оператору может предоставляться возможность выполнять управление технологическим процессом.

Любая система, в деятельность которой вовлечен человек, включает в себя также и человеческий фактор. Нивелирование человеческого фактора может осуществляться за счет запуска соответствующих механизмов для устранения последствий от возможных в данный момент времени действий человека, несущих вред. Человек является сложной системой. Сложность проявляется в том числе и в трудности предсказания возможных действий человека. Одним из вариантов предсказания возможных действий человека является построение модели, входные данные для которой – функциональное состояние человека в рассматриваемый момент времени и его индивидуальные особенности.

Цель работы – разработка математической модели, которая позволит повысить безопасность технологических процессов за счет учета действий оператора.

Модель оценки латентного времени оператора

На рисунке 1 показан один из вариантов диаграммы потоков данных технологического процесса. Помимо системы, выполняющей технологический процесс, диаграмма включает в себя оператора, АСУ, систему автоматического и ручного управления оператором технологического процесса, а также систему сбора информации, контроля деятельности оператора и систему контроля времени отклика.

Система, выполняющая технологический процесс, преобразуя исходные компоненты, порождает не только продукты технологического процесса, но и побочные продукты реакции (например, вредные выбросы), что актуально для химического производства. Система сбора информации предоставляет данные оператору и АСУ о концентрации исходных веществ, продуктов технологического процесса и концентрации вредных веществ, а также о показателях протекания технологического процесса (например, о температуре и давлении). АСУ на основе данных, полученных от системы сбора информации, формирует сигналы управления технологическим процессом, а также посылает сигнал тревоги оператору при необходимости. Необходимость в подаче сигнала тревоги возникает, когда система не находится в состоянии нормального функционирования. Оператор на основе данных о показателях технологического процесса может отправлять команды системе ручного управления. Сигнал тревоги для оператора является признаком необходимости выполнения оперативных действий для приведения системы в состояние нормального функционирования.

Кроме этого, на рисунке 1 показан ряд объектов, целью которых является предупреждение возможных последствий от человеческого фактора. Одним из таких объектов является система определения латентного времени. Эта система на основе некоторых параметров оператора и других объектов, данных от системы сбора информации и показателях системы ручного управления позволяет получить информацию

для расчета скорости изменения параметров технологического процесса, времени отклика измерительного прибора, латентного времени оператора и времени отклика исполнительного механизма системы ручного управления. На основе данных, полученных от системы определения времени отклика, система контроля деятельности оператора может послать сигнал либо системе автоматического управления, либо системе ручного управления. В данном случае системе автоматического управления посылается сигнал аварийной остановки технологического процесса, если система контроля деятельности оператора определила, что оператор не успеет вовремя совершить действия, которые приведут систему в состояние нормального функционирования. Если же оператор успеет, то система отправляет системе ручного управления сигнал на разрешение исполнять команды оператора.

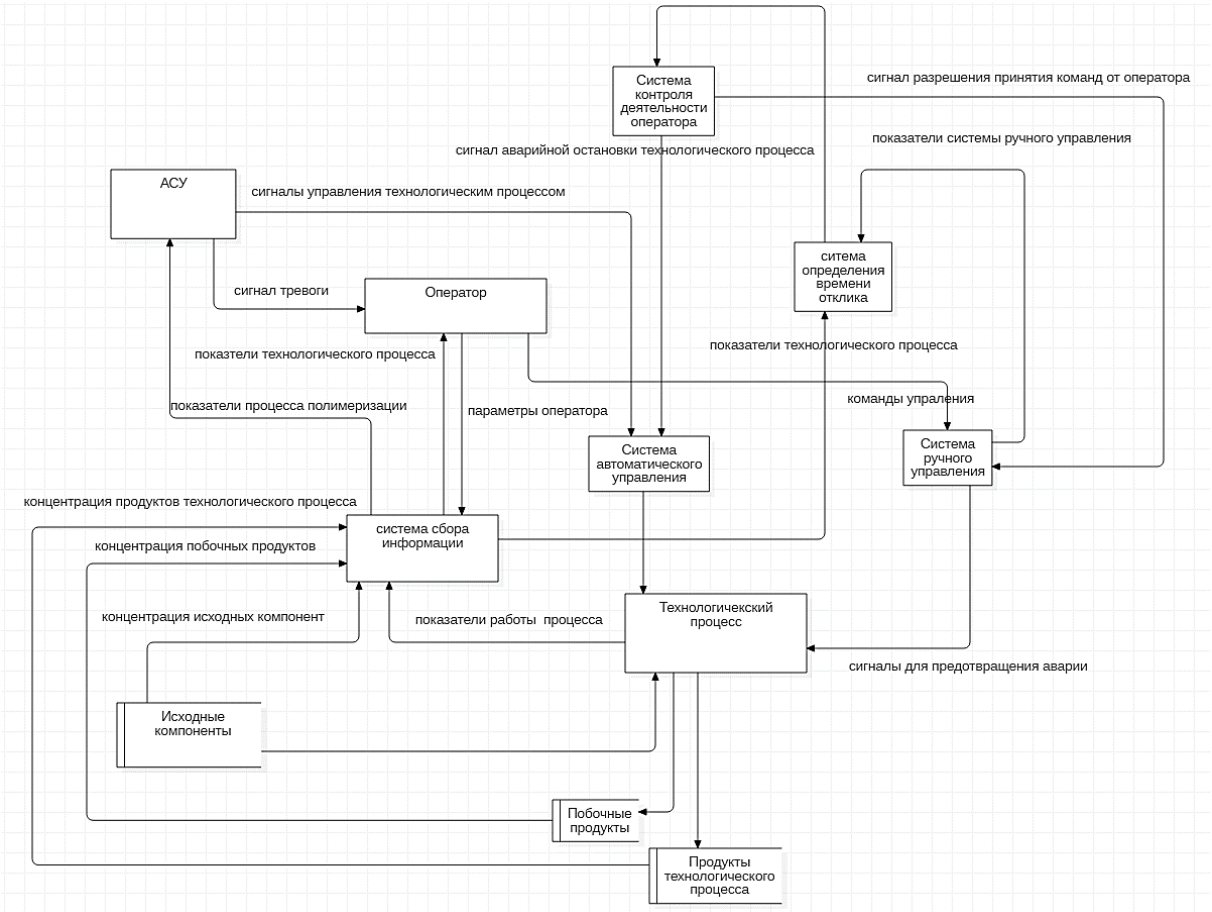


Рисунок 1. Диаграмма потока данных технологического процесса при наличии человека-оператора и систем отслеживания, автоматического и ручного управления технологическим процессом

Figure 1. Data flow diagram of the technological process which consists the human-operator and the systems for tracking, automatic and manual control of this process

Рассмотрим случай, когда от оператора требуются оперативные действия для приведения технологического процесса из предаварийного состояния в состояние нормального функционирования. Аварийное состояние и состояние аварии предполагают наличие необратимых изменений, в отличии от рассматриваемого случая, поэтому требуют отдельного рассмотрения и выходят за рамки данного исследования. Согласно диаграмме потока данных (рисунок 1) последовательность действий, которая должна быть выполнена для переведения системы из предаварийного состояния в состояние нормального функционирования, реализуется по следующему алгоритму. АСУ на основе данных, полученных от системы сбора информации, определяет, что система находится в предаварийном состоянии. Поэтому АСУ посылает оператору сигнал тревоги. Оператора интерпретирует состояние технологического процесса и определяет порядок действий, требуемый на приведение системы в состояние нормального функционирования, после чего оператор при помощи системы ручного управления выполняет действия, которые, по его мнению, должны привести технологический процесс в норму. На рисунке 2 показана диаграмма Гантта, которая отражает вид последовательности этапов при

приведении технологического процесса в норму, когда он находится в предаварийном состоянии, от момента начала измерения параметров до завершения действий, направленных на приведение процесса в норму.

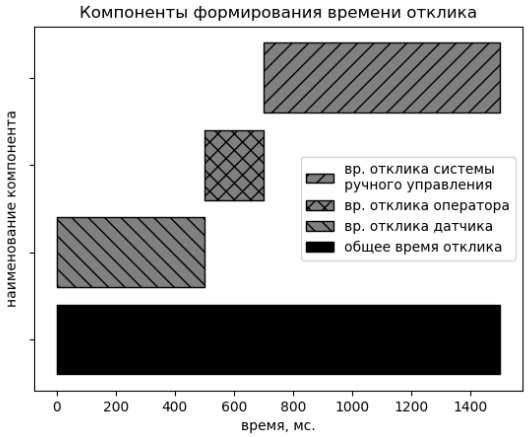


Рисунок 2. Диаграмма Гантта формирования времени отклика из задержки датчика, латентности действий оператора и задержки исполнительного механизма при стабилизации технологического процесса

Figure 2. Gantt chart of the response time formation by the delay of the sensor, the operator latency and the response of the actuator in the stabilization process

Таким образом, время, которое необходимо для того, чтобы перевести технологический процесс из предаварийного состояния в состояние нормального функционирования, состоит из трех временных интервалов – отклика датчика (измерительного прибора), латентности человека и отклика исполнительного устройства системы ручного управления. Следовательно, условием успешного приведения системы в состояние нормального функционирования будет считаться непревышение значения суммы этих трех компонентов значения времени, доступного для приведения технологического процесса в состояние нормального функционирования. Это условие показано в формуле:

$$T_{available} \geq T_{sensor} + T_{person} + T_{HMI}, \qquad (1)$$

где $T_{available}$ – время доступное, для стабилизации системы, с. В общем случае рассматривается ситуация, когда в каждый момент времени с допустимым уровнем точности этот процесс может быть описан монотонно-убывающей или монотонно возрастающей функцией; T_{person} – латентное время человека-оператора, с. Показывает минимальное время, которое требуется человеку на интерпретацию данных, полученных с органов чувств, и принятие решения; T_{sensor} – значение латентного времени измерительного (измерительный прибор позволяет получить оценку величины F наблюдаемого параметра) прибора (время, которое пройдет с момента начала измерения до того момента, как измерительный прибор составит оценку значения измеряемой характеристики), с; T_{HMI} – время выполнения команд пользователя системой ручного управления, с. Определяется интервалом времени от поступления команды оператора до момента завершения выполнения данной команды.

В данном случае $T_{available}$ показывает время, по истечении которого система перейдет либо в аварийное состояние, либо возникнет авария. В общем случае будем рассматривать ситуацию, когда в каждый момент времени с допустимым уровнем точности этот процесс может быть описан функцией, среди значений производных которой только первая производная может принимать ненулевые значения:

$$T_{available} = \frac{F_{critical} - F}{F'}, \qquad (2)$$

где F – текущее значение наблюдаемого параметра после измерения датчиком, усл. ед. (условные единицы измерения наблюдаемого параметра, например, температура в градусах Кельвина, давление в паскалях, и т. д.); $F_{critical}$ – критическое значение наблюдаемого параметра, усл. ед. Пересечение критического значения является индикатором возникновения аварийной ситуации или аварии на технологическом процессе; F' – скорость изменения наблюдаемого параметра в окрестности момента времени измерения параметра, усл. ед./с.

Значение латентного времени оператора $\left(T_{person}\right)$ зависит от индивидуальных особенностей человека и его функционального состояния. Латентное время человека не может находиться ниже некоторой величины, определяемой его состоянием. Оно также зависит от величин наблюдаемого параметра и от скорости его изменения. Согласно закону «сила-длительность» время отклика должно обратно пропорционально зависеть от величины стимула, в данном случае в качестве стимула выступают измеренное значение наблюдаемого параметра и скорость его изменения. Для T_{person} предлагается использовать формулу:

$$T_{person} = L_{\min} + \frac{\left(L_{\max} - L_{\min}\right)}{\left(1 + F'^2 \cdot \alpha\right)} \times \times \frac{\left(F_{crit} - F\right)}{\left(F_{crit} - F_{nom}\right)} \cdot \exp\left(1 \cdot \left(\frac{F - F_{nom}}{F_{crit} - F_{nom}}\right)\right), \qquad (3)$$

где $L_{\min}$, $L_{\max}$ – параметры, которые позволяют определить минимальное и максимальное

время, которое требуется человеку на интерпретацию данных, полученных с органов чувств, с. Оно определяется индивидуальными особенностями конкретного человека-оператора и его функциональным состоянием; F_{nom} – максимальное значение наблюдаемого параметра, при котором управления производственным процессом может осуществляться в автоматическом режиме (то есть без участия человека), ед. изм. Превышении номинального (F_{nom}) значения свидетельствует о наличии предаварийной ситуации, в таком случае требуется вмешательство человека-оператора. Это вмешательство должно выражаться в управленческих действиях, направленных на приведение параметров технологического процесса в допустимые рамки; F_{nom} – значение наблюдаемого параметра, превышение которого означает, что система не находится в состоянии нормального функционирования, усл. ед.; α – коэффициент приведения $(ед.)$ к безразмерной величине, численно равный 1 $(ед.)2$.

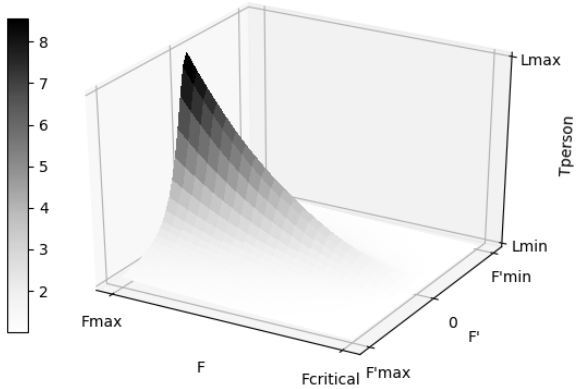


Рисунок 3. Зависимость времени отклика человека от величин наблюдаемого параметра и производной наблюдаемого параметра

Figure 3. The dependence of the response time of a person of the values of the observed parameter and the derivative of the observed parameter

На рисунке 3 показана зависимость T_{person} в соответствии с принятой моделью от значений наблюдаемого параметра и первой производной наблюдаемого параметра.

Условие того, что T_{person} не может быть меньшим некоторого значения, показано в формуле:

$$T_{person} \geq L_{\min}. \quad (4)$$

Объединим времена отклика рассматриваемого процесса приведения системы из предаварийного состояния в состояние нормального функционирования, не относящееся к оператору:

$$T_{system} = T_{sensor} + T_{HMI}. \quad (5)$$

Подставим формулы (2), (3) и (5) в формулу (1):

$$\frac{F_{critical} - F}{F'} \geq T_{system} + L_{\min} + \frac{\left(L_{\max} - L_{\min}\right)}{\left(1 + F'^2 \cdot \alpha\right)} \times \times \frac{\left(F_{crit} - F\right)}{\left(F_{crit} - F_{nom}\right)} \times \exp\left(1 \cdot \left(\frac{F - F_{nom}}{F_{crit} - F_{nom}}\right)\right). \quad (6)$$

Исследование краевых случаев

1. $F = F_{nom}$.

Разность $F_{critical} - F$ принимает максимальное значение. Исходя из того, что диапазон значений F' должен быть определен для каждого технологического процесса, можно определить диапазон значений $T_{available}$.

Например, F_{nom}, $F_{critical}$ и F' принимают значения, соответственно, 100, 150 и 2 ед./с, тогда $F_{critical}$ равно 25 с. И формула (6) принимает следующий вид:

$$\frac{F_{critical} - F}{F'} \geq T_{system} + L_{\min} + \frac{\left(L_{\max} - L_{\min}\right)}{\left(1 + F'^2 \cdot \alpha\right)}. \quad (7)$$

2. $F = F_{critical}$.

$$T_{available} = 0. \quad (8)$$

Неравенство (6) не выполняется, так как $T_{available} = 0$ (8), а $L_{\min} > 0$ (4). Следовательно, в этих условиях нет возможности стабилизировать производственный процесс при помощи действий оператора. Ситуация считается аварийной, поэтому системе контроля (рисунок 1) необходимо запускать механизмы автоматической (работающей некоторое время без участия человека) системы безопасности.

3. $F' = 0$.

$$T_{available} \to \infty \quad (9)$$

$$\frac{1}{1 + F'^2 \cdot cc} \to \infty \quad (10)$$

$$T_{person} \to \infty \quad (11)$$

Нулевое значение скорости изменения наблюдаемого параметра означает, что для стабилизации производственного процесса будет применим измерительный прибор, оператор и исполнительная система со сколь угодно большим латентным временем (9) и (10). Следует отметить, что в данном случае информирование оператора системой отслеживания технологического процесса необходимо, так как $T_{person} \to \infty$ (11), поэтому оператор может не принимать никаких действий, пока показатели значения параметра не станут изменяться.

4. $F' \to \infty$.

$$\lim_{F' \to \infty} T_{available} = 0 \quad (12)$$

$$\lim_{F' \to \infty} T_{person} = L_{\min} \quad (13)$$

Стремление скорости значения наблюдаемого параметра приводит к тому, что $T_{available}$ и T_{person} принимают свои предельные значения, равные, соответственно, 0 (12) и $L_{\min}$ (13), то есть доступное время для стабилизации системы равно нулю, а латентное время оператора принимает минимальное значение. С учетом соотношения (4) ($L_{\min} > 0$) неравенство (6) не выполняется. Такая ситуация может рассматриваться как аварийная, и для стабилизации производственного процесса необходим запуск автоматической системы безопасности:

$$T_{sensor} > T_{available}.$$

Данное соотношение показывает, что задержка измерительного прибора больше времени, доступного для стабилизации системы. Более того, при таких условия данная модель показывает, что значение наблюдаемого параметра (F) превысило критическое значение ($F_{critical}$) в тот момент времени, когда это значение выдано измерительным прибором. Поэтому такой случай следует рассматривать как аварийную ситуацию. Стабилизация производственного процесса требует активации автоматической системы безопасности для избежания аварии:

$$L_{min} > T_{available}.$$

Неравенство указывает, что минимальное значение латентного времени человека больше, чем время, доступное для стабилизации системы. Следовательно, согласно рассматриваемой модели значение наблюдаемого параметра (F) превысит критическое значение ($F_{critical}$) ещё до того, как оператор успеет интерпретировать сигнал системы отслеживания технологического процесса. Такую ситуацию следует рассматривать как аварийную. Стабилизация производственного процесса требует запуска автоматической системы безопасности:

$$T_{HMI} > T_{available}.$$

Условие характеризует, что время отклика интерфейса исполнительной системы больше, чем время, доступное для стабилизации системы. Согласно диаграмме Гантта (рисунок 2) при любых значениях остальных параметров значение наблюдаемого параметра (F) пересечет критическую отметку ($F_{critical}$) еще до того, как исполнительная система завершит выполнение команды оператора. Такой случай следует рассматривать как аварийную ситуацию. Стабилизация производственного процесса требует активизации автоматической системы безопасности.

В свете изложенного выше формула (6) содержит ряд параметров, среди которых часть параметров является характеристикой технологического процесса, а остальные отражают индивидуальные особенности человека-оператора. Диапазоны значений параметров, описывающих характеристики технологического процесса, должны быть получены из соответствующей документации. Следовательно, имеется возможность оценить диапазоны значений доступного времени (времени с момента начала измерения до момента времени, когда значение параметра превысит критическое значение), диапазон T_{system} и, следовательно, возможный диапазон значений латентного времени оператора.

Кроме этого, человек в рамках конкретного технологического процесса может получать определенные функциональные нагрузки. То есть набор функциональных состояний, в которых может пребывать оператор, определяется технологическим процессом. На основе функциональных проб можно вычислить индивидуальные значения характеристик человека-оператора при различных функциональных состояниях. Отсюда следует, что имеется возможность рассчитать примерные значения границ латентного времени оператора (от $L_{\min}$ до $L_{\max}$) для множества функциональных состояний.

Из этого можно сделать следующий вывод: на основе определенных характеристик как технологического процесса, так и отражающих индивидуальные особенности рассматриваемого оператора, можно получить оценку диапазонов доступного времени T_{system} и T_{person}. Результат расчета диапазонов этих слагаемых может служить данными для оценки вероятности того, что оператор успеет вовремя произвести действия, необходимые для приведения производственного процесса в норму (состояние нормального функционирования).

Имитационное моделирование

В качестве примера проведем имитационное моделирование для процесса полимеризации бутадиена. Полимеризация бутадиена выполняется при помощи пяти котлов-полимеризаторов. В нормах одного из технологических процессов полимеризации бутадиена указано, что температура полимеризата на выходе из работающих полимеризаторов не должна превышать 38 °С для первого, второго полимеризата и не должна превышать 55 °С для третьего, четвертого и пятого. Управление процессом полимеризации может выполняться множеством способов – увеличение потока охладителя, сбрасывание давления и т. д.

Таблица 1.

Выбранные диапазоны значений параметров

Table 1.

The selected ranges of parameter values

Параметр | Parametr	Min	Max	Единицы измерения | Unit
F_{nom}	45	50	°C
F_{crit}	55	55	°C
F	45	55	°C
F'	1	5	°C/c
T_{system}	1	3	c
$L_{\min}$	0,1	0,5	c
$L_{\max}$	1	3	c

Таблица 2.

Граничные значения диапазонов параметров для пяти рассматриваемых случаев

Table 2.

The boundary values of the ranges of parameters for the five considered cases

№	Левая граница | Left boundary	Правая граница | Right boundary
1	min	min
2	min	(min + max)/2
3	min	max
4	(min + max) / 2	max
5	max	max

Для каждого параметра, кроме критического значения температуры (F_{crit}) (оно задано в нормах технологического процесса), выбираем свои минимальное и максимальное значения, которые помещаем в таблицу 1. Каждый эксперимент будет состоять из 10 миллионов повторных расчетов. В каждом расчете значения переменных выбираются случайно (распределение – равномерное) в соответствии со значениями из таблиц 1 и 2. Результатом является вероятность положительного исхода. Без потери общности сумму T_{sensor} и T_{HMI} заменим T_{system} (4). Выполнение условия (6) зависит от значений семи переменных.

Имитационное моделирование позволит нам ответить на следующий вопрос: оптимизация технологического процесса с целью изменения диапазона какого параметра наибольшим образом повысит вероятность положительного исхода (положительный исход – приведение технологического процесса из предаварийного состояния в состояние нормального функционирования) и, следовательно, повысит надежность системы безопасности технологического процесса. Под изменением диапазона значений параметра рассматривается изменение значения одной границы при неизменной другой, так как в некоторых случаях на практике одновременное изменение двух границ является более сложной проблемой и предполагает рассмотрение большего числа комбинаций. Кроме того, значения перебираемых диапазонов не должны выходить за соответствующие границы, определенные в таблице 1. Для каждого параметра будем рассматривать 5 случаев, описание значений левых и правых границ которых показано в таблице 2 (min и max –минимальное и максимальное значения из таблицы 1). Рассчитаем вероятность положительного исхода по формуле (6) для всех случаев по каждому из параметров, кроме F_{crit} (он строго задан технологическим процессом).

Таблица 3.

Вероятность положительного исхода при переменном диапазоне F_{nom} (см. таблицы 1 и 2)

Table 3.

The probability of a positive result for a variable range of F_{nom} (see tables 1 and 2)

№	F_{nom}	F_{crit}	F	F'	T_{system}	$L_{\min}$	$L_{\max}$	Вер-ть пол. исх. в % Probability of a positive result
1	45…45	55	45…55	1…5	1…3	0,1…0,5	1…3	33,13
2	45…47,5	55	45…55	1…5	1…3	0,1…0,5	1…3	27,10
3	45…50	55	45…55	1…5	1…3	0,1…0,5	1…3	21,68
4	47,5…50	55	45…55	1…5	1…3	0,1…0,5	1…3	14,08
5	50…50	55	45…55	1…5	1…3	0,1…0,5	1…3	7,32

В таблице 3 представлена вероятность положительного исхода (приведение технологического процесса из предаварийного состояния в состояние нормального функционирования путем действий оператора) при варьировании диапазона значений параметра F_{nom}. Параметр F_{nom} (номинальное значение наблюдаемого параметра) показывает границу между состоянием нормального функционирования и предаварийным состоянием. Если диапазон значений F_{nom} равен 45..50, то вероятность положительного исхода равна 21,68%. При половинных значениях от исходного диапазона – 45,0…47,5 и 47,5…50,0, получаем 27,10 и 14,08 %. И если F_{nom} принимает только одно значение 45 или 50, то вероятность положительного исхода 33,13 или 7,32%.

Таблица 4.

Вероятность положительного исхода при переменном диапазоне F (см. таблицы 1 и 2)

Table 4.

The probability of a positive result for a variable range of F (see tables 1 and 2)

№	F_{nom}	F_{crit}	F	F'	T_{system}	$L_{\min}$	$L_{\max}$	Вер-ть пол. исх. в % Probability of a positive result
1	45…45	55	45…45	1…5	1…3	0,1…0,5	1…3	78,51
2	45…50	55	45…50	1…5	1…3	0,1…0,5	1…3	48,07
3	45…50	55	45…55	1…5	1…3	0,1…0,5	1…3	21,67
4	45…50	55	50…55	1…5	1…3	0,1…0,5	1…3	8,48
5	45…50	55	55…55	1…5	1…3	0,1…0,5	1…3	0

Таблица 4 показывает расчетные значения вероятности положительного исхода при варьируемом в соответствии с таблицей 2 диапазоне параметра F. Диапазон значений параметра F показывает наиболее вероятные значения наблюдаемого параметра, полученные от измерительного прибора, которые говорят о том, что технологический процесс перешел из состояния нормального функционирования в аварийное состояния. Величины границ диапазона значений данного параметра могут коррелировать как с параметрами изменения значения наблюдаемого параметра, так и с параметрами измерительного прибора. Если F находится в диапазоне 45…55, то вероятность положительного исхода примерно равна 21,67%. При половинном значении от величины исходного диапазона 45…50 и 50…55, величина вероятности положительного исхода равна соответственно 48,07 и 8,48%. И если F принимает только одно значение 45 или 55, то вероятность положительных исходов 78,51 и 0% соответственно. Значение 0 достигается при F равном F_{crit}, что не расходится со здравым смыслом (левая часть уравнения (6) равна 0, а правая больше нуля, так как $T_{person} \geq L_{\min}$ (4).

Таблица 5.

Вероятность положительного исхода при переменном диапазоне F' (см. таблицы 1 и 2)

Table 5.

The probability of a positive result for a variable range of F' (see tables 1 and 2)

№	F_{nom}	F_{crit}	F	F'	T_{system}	$L_{\min}$	$L_{\max}$	Вер-ть пол. исх. в % Probability of a positive result
1	45…50	55	45…55	1…1	1…3	0,1…0,5	1…3	67,19
2	45…50	55	45…55	1…3	1…3	0,1…0,5	1…3	37,17
3	45…50	55	45…55	1…5	1…3	0,1…0,5	1…3	21,67
4	45…50	55	45…55	3…5	1…3	0,1…0,5	1…3	6,18
5	45…50	55	45…55	5…5	1…3	0,1…0,5	1…3	1,66

В таблице 5 показано изменение вероятности положительного исхода при варьировании диапазона значений параметра F'. Параметр F' показывает скорость изменения наблюдаемого параметра. Вероятность положительного исхода для всех случаев, описанных в таблице 2, показана в соответствующем столбце. Увеличение порядкового номера эксперимента показывает уменьшение значения вероятности положительного исхода (приведения технологического процесса из предаварийного состояния в состояние нормального функционирования).

Таблица 6.

Вероятность положительного исхода при переменном диапазоне T_{system} (см. таблицы 1 и 2)

Table 6.

The probability of a positive result for a variable range of T_{system} (see tables 1 and 2)

№	F_{nom}	F_{crit}	F	F'	T_{system}	$L_{\min}$	$L_{\max}$	Вер-ть пол. исх. в % Probability of a positive result
1	45…50	55	45…55	1…5	1…1	0,1…0,5	1…3	46,16
2	45…50	55	45…55	1…5	1…2	0,1…0,5	1…3	30,53
3	45…50	55	45…55	1…5	1…3	0,1…0,5	1…3	21,66
4	45…50	55	45…55	1…5	2…3	0,1…0,5	1…3	12,80
5	45…50	55	45…55	1…5	3…3	0,1…0,5	1…3	8,23

Таблица 6 показывает величины вероятности наступления положительного исхода при различных диапазонах значений параметра T_{system}. Согласно формуле (5) параметр T_{system} представляет собой сумму T_{sensor} и T_{HMI}. Величины параметров T_{system} и F зависят от свойств измерительного прибора технологического процесса. В отличие от F T_{system} характеризуется параметрами исполнительного механизма. Аналогично предыдущим таблицам 3–5 вероятность положительного исхода уменьшается при увеличении номера случая.

Таблица 7.

Вероятность положительного исхода при переменном диапазоне $L_{\min}$ (см. таблицы 1 и 2)

Table 7.

The probability of a positive result for a variable range of $L_{\min}$ (see tables 1 and 2)

№	F_{nom}	F_{crit}	F	F'	T_{system}	L_{min}	L_{max}	Вер-ть пол. исх. в % Probability of a positive result
1	45…50	55	45…55	1…5	1…3	0,1…0,1	1…3	25,41
2	45…50	55	45…55	1…5	1…3	0,1…0,3	1…3	23,43
3	45…50	55	45…55	1…5	1…3	0,1…0,5	1…3	21,69
4	45…50	55	45…55	1…5	1…3	0,3…0,5	1…3	19,92
5	45…50	55	45…55	1…5	1…3	0,5…0,5	1…3	18,34

В таблице 7 приведены значения вероятности положительного исхода при варьировании диапазона значений параметра $L_{\min}$. Параметр $L_{\min}$ показывает минимальное значение времени отклика человека при конкретном функциональном состоянии. Значение данного параметра является физиологической характеристикой оператора, которая выражается в задержке, возникающей при интерпретации сигналов с органов чувств в центральной нервной системе человека. Поэтому изменения значения данного параметра проще достигнуть путем перебора различных людей на должность оператора. Как и ранее увеличение номера случая соответствует уменьшению вероятности положительного исхода.

Таблица 8.

Вероятность положительного исхода при переменном диапазоне $L_{\max}$ (см. таблицы 1 и 2)

Table 8.

The probability of a positive result for a variable range of $L_{\max}$ (see tables 1 and 2)

№	F_{nom}	F_{crit}	F	F'	T_{system}	$L_{\min}$	$L_{\max}$	Вер-ть пол. исх. в % Probability of a positive result
1	45…50	55	45…55	1…5	1…3	0,1…0,5	1…1	23,02
2	45…50	55	45…55	1…5	1…3	0,1…0,5	1…2	22,34
3	45…50	55	45…55	1…5	1…3	0,1…0,5	1…3	21,68
4	45…50	55	45…55	1…5	1…3	0,1…0,5	2…3	21,00
5	45…50	55	45…55	1…5	1…3	0,1…0,5	3…3	20,30

Таблица 8 содержит соответствие между значениями вероятности положительного исхода и диапазоном значений параметра $L_{\max}$ для всех случаев, описанных в таблице 2. Параметр $L_{\max}$ показывает максимальное значение времени отклика человека в конкретном функциональном состоянии. Как и параметр $L_{\min}$, параметр $L_{\max}$ является отражением физиологических свойств человека. Следовательно, под варьированием параметра $L_{\max}$ понимается перебор различных операторов. Как и во всех рассмотренных ситуациях, показанных в таблицах 3–7, увеличение номера случая показывает уменьшение вероятности наступления положительного исхода.

В таблицах 3–8 показаны значения вероятности положительного исхода при переменном значении диапазона соответствующих параметров. По данным таблицам видно, что наибольшее увеличение соотношения положительных исходов в рассматриваемых условиях (диапазоны значений параметров, которые содержатся в таблице 1) позволяет получить изменение диапазона значений параметра F. Оптимизация технологического процесса с целью изменения диапазона значений переменных F' и T_{system} принесет немного худшие результаты, а оптимизация параметров $L_{\min}$ и $L_{\max}$ принесет наименьшее увеличение вероятности наступления положительного исхода в условиях, описанных в таблице 1.

Кроме того, по результатам, показанным в таблицах 3–8, можно заключить, изменение диапазонов значений каких параметров наихудшим образом скажется на вероятности выполнения условия, заданного формулой (6). При F равном критическому значению, вероятность положительного исхода 0. Параметры F' и F_{nom} при значениях, равных 5 °С/с и 50 °С, позволяют получить значения вероятности положительного исхода, равные 1,66 и 7,32% соответственно. В меньшей степени изменяют значение вероятности положительного исхода параметры $L_{\max}$ – с 21,68 до 20,30% и $L_{\min}$ – с 21,69 до 18,34%.

Таким образом, при рассмотрении условия успешного приведения технологического процесса, заданного формулой (6), в рамках выбранного диапазона значений параметров, описанных в таблице 1, наибольшее увеличение или наибольшее уменьшение вероятности положительного исхода происходит при изменении диапазона значений параметра F. Средний по величине результат позволяют получить изменения диапазонов значений параметров F' и T_{system}. Наименьший по величине результат как по увеличению, так и по уменьшению величины вероятности положительного исхода достигается путем изменения диапазона значений $L_{\min}$ или $L_{\max}$. Это говорит о том, что в данном случае (таблица 1) большее увеличение надежности системы безопасности может быть достигнуто за счет уменьшения возможного диапазона F, чем за счет уменьшения времени отклика оператора, что является более сложной задачей. Диапазон значений параметра F показывает наиболее вероятные значения наблюдаемого параметра, которые будут говорить о том, что технологический процесс перешел из состояния нормального функционирования в аварийное состояние. Поэтому возможный диапазон значений параметра F определяется параметрами технологического процесса и параметрами измерительного прибора. Одним из способов изменения диапазона значений F – выбор более совершенного измерительного прибора, что и подтверждает имитационное моделирование (таблицы 1–8) (увеличение вероятности положительных исходов с 21,67 до 78,51).

Заключение

Разработана математическая модель, которая позволяет повысить безопасность технологических процессов за счет учета действий оператора. Определен набор состояний технологического процесса, работающий под управлением АСУ – нормальное функционирование, предаварийное, аварийное и состояние аварии. Приведен один из вариантов диаграммы потока данных для технологического процесса, включающего в себя АСУ и человека-оператора. Определена последовательность этапов, которые происходят при переводе технологического процесса из предаварийного состояния в состояние нормального функционирования. Эта последовательность состоит из трех этапов: получение данных с измерительного прибора, интерпретация состояния технологического процесса и принятие решения оператором и работа исполнительного механизма. Составлено условие, позволяющее получить оценку возможности приведения системы в состояние нормального функционирования.

Разработана модель оценки латентного времени оператора (время на интерпретацию данных, полученных с органов чувств, на принятие решения) на основе значений наблюдаемой величины и скорости изменения этой величины. Выполнено исследование краевых случаев для формулы (6), которая дает оценку успеха

приведения технологического процесса в состояние нормального функционирования. Проведено имитационное моделирование с целью выяснения вопроса о том, что оптимизация технологического процесса, направленная на изменение диапазона какого параметра, наибольшим образом повысит вероятность положительного исхода (положительный исход – приведение технологического процесса из предаварийного состояния в состояние нормального функционирования). Условия проведения имитационного моделирования заданы набором диапазонов значений параметров, которые определяются свойствами протекания технологического процесса, функциональным состоянием оператора, свойствами измерительного прибора и исполнительного механизма. В результате удалось определить параметр, изменение диапазона значений которого позволит повысить вероятность положительного исхода в рассматриваемом случае (таблица 1), что свидетельствует о полезности метода при исследовании эффективности процесса стабилизации технологического процесса оператором.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (грант 16-29-08342-офи_м)

ЛИТЕРАТУРА

1 Котин А.В. Пути обеспечения безопасности технологических процессов // Наука. Технологии. Инновации: сборник статей международной научно-практической конференции. 2018. С. 64–67.

2 Баширов М.Г., Павлова З.Х., Закирпичная М.М., Хафизов А.М. Совершенствование систем автоматического управления и противоаварийной защиты трубчатых печей на основе мониторинга параметров процесса коксообразования // Нефтегазовое дело. 2018. № 1. С. 120–144.

3 Попов В.В., Савич А.В., Ефремкин С.И. Разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом синтеза аммиака // Наука сегодня: глобальные вызовы и механизмы развития: материалы международной научно-практической конференции. Часть 1. 2018. С. 63–64.

4 Белов Г.П., Абдрахманов Н.Х., Шутов Н.В., Халимов М.Ф. Анализ и актуальные проблемы экспертизы безопасности опасных производственных объектов // Norwegian journal of development of the international science. 2018. № 18. С. 36–40.

5 Белова Т.И., Кулажский Е.В. Анализ потенциально опасных технологических процессов и источников повышенной опасности при использовании аммиака на предприятиях пищевой отрасли // Аллея науки. 2018. Т. 1. № 2 (18). С. 32–36.

6 Хоменко О.Е., Кононенко М.Н., Лященко В.И. Повышение безопасности горно-подготовительных работ на рудных шахтах // Безопасность труда в промышленности. 2018. № 5. С. 53–59.

7 Абдрахманов Н.Х., Шутов Н.В., Абдрахманова К.Н., Ворохобко В.В и др. Исследование и анализ нестационарности возникновения и развития потенциально опасных ситуаций при эксплуатации опасных производственных объектов // Нефтегазовое дело. 2015. № 1. С. 292–306.

8 Абдрахманов Н.Х., Абдрахманова К.Н., Ворохобко В.В., Абдрахманов Р.Н. и др. Моделирование сценариев развития аварийных ситуаций для нестационарных опасных производственных объектов нефтегазового комплекса // Нефтегазовое дело. 2015. № 5. С. 516–531.

9 Сафин Г.Г., Абдрахманов А.А., Великанов В.С., Усов И.Г. и др. Групповая экспертная оценка деятельности операторов одним из методов теории принятия решений // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1. С. 1–8.

10 Чекотин Р.С., Вербицкая Н.О. Оценка действий оператора в полуавтоматических и многозадачных системах в лесозаготовках на основе использования IoT-технологий // Системы. Методы. Технологии. 2016. № 4 (32). С. 188–196.

11 Овсянников В.Е., Васильев В.И. Разработка средств для исследования деятельности операторов технологического оборудования // Инженерный вестник Дона. 2015. № 1. С. 1–7.

REFERENCES

1 Kotin A.V. Ways to ensure the safety of technological processes. Nauka. Tehnologii. Innovacii [The science. Technology. Innovations: a collection of articles of the international scientific-practical conference]. 2018. pp. 64–67. (in Russian).

2 Bashirov M.G., Pavlova Z. Kh., Zakirpichnaya M.M., Khazirov A.M. Improvement of automatic control systems and emergency protection of tube furnaces based on monitoring the parameters of the coke formation process. *Neftegazovoe delo* [Oil and gas business]. 2018. no. 1. pp. 120–144. (in Russian).

3 Popov V.V., Savich A.V., Efremkin S.I. Development of an automated process control system for ammonia synthesis. Nauka segdnya: globalnye vizovy i mechanizmy razvitiya [Science today: global challenges and development mechanisms: proceedings of the international scientific and practical conference. Part 1]. 2018. pp. 63–64. (in Russian).

4 Belov G.P., Abdrahmanov N.H., Shutov N.V., Khalimov M.F. Analysis and actual problems of safety examination of hazardous production facilities. Norvegian journal of development of the international science. 2018. no. 18. pp. 36–40. (in Russian).

5 Belova T.I., Kaluzhskiy E.V. Analys potentsialno opasnih technologicheskih processov I istochnikov povishennoy opasnosti na predpiyatiyah pishevoy otrasli. *Alleya nauki* [Alley of science]. 2018. vol. 1. no. 2 (18). pp. 32–36. (in Russian).

6 Khomchenko O.E., Kononenko M.N., Lyashenko V.I. Improving the safety of mining preparatory work in the ore mines. *Bezopasnost truda v promishlennosti* [Industrial Safety]. 2018. no. 5. pp. 53–59. (in Russian).

7 Abdrahmanov N.H., Shutov N.V., Abdrahmanov K.N., Vorobko V.V. et al. Research and analysis of the non-stationarity of the occurrence and development of potentially dangerous situations during the operation of hazardous production facilities. *Neftegazovoe delo* [Oil and gas business]. 2015. no. 1. pp. 292–306. (in Russian).

8 Abdrahmanov N.H., Abdrahmanova K.N., Vorohobko V.V., Abdrahmanov P.H. et al. Simulation of scenarios for the development of emergency situations for non-stationary hazardous production facilities of the oil and gas complex. *Negtegazovoe delo* [Oil and gas business]. 2015. no. 5. pp. 516–531. (in Russian).

9 Safin G.G., Abdrahmanov A.A., Velikanov V.S., Usov I.G. et al. Gruppovaya ekspertnaya ocenka deyatelnosti operatorov odnim iz metodov teorii prinyatiya resheniy. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. 2015. no. 1. pp. 1–8. (in Russian).

10 Chekotin P.C., Vernitskaya N.O. Evaluation of operator actions in semi-automatic and multitasking systems in logging based on the use of IoT-technologies. *Systemy. Metody. Technologii* [Systems Methods Technology]. 2016. no. 4 (32). pp. 188–196. (in Russian).

11 Ovsyannikov V.E., Vasilev V.I., Development of tools for research activities of process equipment operators. *Inzhenerniy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don]. 2015. no. 1. pp. 1–7. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Александр С. Суровцев аспирант, кафедра информационных и управляющих систем, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, alexander.surovtsev.vrn@gmail.com

Игорь А. Авцинов д.т.н., профессор, кафедра информационных и управляющих систем,Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, igor.awtzinov@yandex.ru

Ярослав А. Туровский к.м.н., доцент, кафедра цифровых технологий, Воронежский государственный университет, Университетская пл., 1, г. Воронеж, 394018, Россия, с.н.с. Института проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН, Профсоюзная ул., 65, г. Москва, 117342, Россия, yaroslav_turovsk@mail.ru

Сергей В. Борзунов к.ф.-м.н., доцент, кафедра цифровых технологий, Воронежский государственный университет, Университетская пл., 1, г. Воронеж, 394018, Россия, sborzunov@gmail.com

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Александр С. Суровцев написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Игорь А. Авцинов консультация в ходе исследования

Ярослав А. Туровский предложил методику проведения эксперимента

Сергей В. Борзунов консультация в ходе исследования

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 17.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 22.10.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Alexander S. Surovtsev graduate student, informational and control systems department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, alexander.surovtsev.vrn@gmail.com

Igor A. Awtzinov Dr. Sci. (Engin.), professor, informational and control systems department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, igor.awtzinov@yandex.ru

Yaroslav A. Turovsky Cand. Sci. (Medic.), associate professor, digital technologies department, Voronezh state university, Universitetskaya sq., 1, Voronezh, 394018, Russia, Senior Researcher, Institute of Management Problems V.A. Trapeznikova of the Russian Academy of Sciences, Profsoyuznaya st., 65, Moscow, 117342, Russia, yaroslav_turovsk@mail.ru

Sergei V. Borzunov Cand. Sci. (Phys.-math.), associate professor, digital technologies department, Voronezh state university, Universitetskaya sq., 1, Voronezh, 394018, Russia, sborzunov@gmail.com

CONTRIBUTION

Alexander S. Surovtsev wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Igor A. Awtzinov consultation during the study

Yaroslav A. Turovsky proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Sergei V. Borzunov consultation during the study

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.17.2018

ACCEPTED 10.22.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 658.5.011

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-128-132

Информационная модель управления производственной системой

Людмила Б. Лихачева [1] lbmila@yandex.ru
Людмила И. Назина [1] nazina_lyudmila@mail.ru
Анастасия В. Ломанова [1] lomanova-94@mail.ru
Надежда А. Черных [1] chernyh.nadezhda@yandex.ru

[1] Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Совершенствование производственных систем организации осуществляется за счет внедрения систем менеджмента качества, изменения модели организации производства, применения современных подходов повышения качества продукции и удовлетворенности потребителей. Измерение, оценка и анализ состояния производственной системы позволяет установить направление деятельности по улучшению производственных процессов и разрабатывать мероприятия, направленные на обеспечение результативности всей системы в целом. Производственная система является открытой системой, она связана и обменивается с внешней средой информацией, ресурсами и т.п. Рассматриваемая в статье производственная система называется операционной системой, состоящей из трех подсистем: перерабатывающей подсистемы, непосредственно связанной с технологическими процессами преобразования сырья и полуфабрикатов в готовую продукцию; подсистемы обеспечения, выполняющей вспомогательные функции, необходимые для осуществления основных технологических процессов; подсистемы планирования и контроля, получающей и обрабатывающей информацию из внутренней и внешней среды организации. Задача построения автоматизированной информационной системы связана с необходимостью интеграции с подсистемами сбора и анализа данных, наглядным представлением информации для принятия решений на всех уровнях. Построение информационной системы управления производственной системы невозможно без мощной инфраструктуры, без наличия единой информационной системы поддержки и управления технологическими процессами. Предложенная информационная система будет способствовать автоматизации процессов управления процессами организации, быстро формировать стратегические и тактические цели организации.В течение заданного промежутка времени будет производиться сбор и анализ данных из внутренней и внешней среды, своевременно выполняться анализ отклонений значений показателей от плановых величин. Результаты обработки информации будет своевременно визуализировать как для каждого сотрудника, так и производственной системы организации в целом.

Ключевые слова: производственная система, информационная модель, показатели подсистем

Information model of production system management

Lyudmila B. Likhacheva [1] lbmila@yandex.ru
Lyudmila I. Nazina [1] nazina_lyudmila@mail.ru
Anastasia V. Lomanova [1] lomanova-94@mail.ru
Nadeshda A. Chernykh [1] chernyh.nadezhda@yandex.ru

[1] Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Improvement of production systems of the organization is carried out through the introduction of quality management systems, changes in the model of production organization, the use of modern approaches to improve product quality and customer satisfaction. Measurement, evaluation and analysis of the production system allows to set the direction of activity to improve production processes and to develop activities aimed at ensuring the effectiveness of the whole system. The production system is an open system, it is connected and exchanged with the external environment information, resources, etc. the production system is Called the operating system, which consists of three subsystems: processing subsystem, directly related to the technological processes of raw materials and semi-finished products conversion into finished products; support subsystem, which performs auxiliary functions necessary for the implementation of the main technological processes; planning and control subsystems that receive and process information from the internal and external environment of the organization. The task of building an automated information system is connected with the need to integrate with the subsystem of data collection and analysis, visual representation of information for decision-making at all levels. Building an information management system of the production system is impossible without a powerful infrastructure, without a single information system support and process control. The proposed information system will help to automate the processes of management of the organization, quickly form the strategic and tactical goals of the organization. Within a given period of time, data will be collected and analyzed from the internal and external environment, timely analysis of deviations of the values of indicators from the planned values. The results of information processing will be timely visualized both for each employee and the production system of the organization as a whole.

Keywords:production system, information model, subsystem indicators

Для цитирования

Лихачева Л.Б., Назина Л.И., Ломанова А.В., Черных Н.А. Информационная модель управления производственной системой // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 128–132. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-128-132

For citation

Likhacheva L.B., Nazina L.I., Romanova A.V., Chernykh N.A. Information model of production system management. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 128–132. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-128-132

Введение

Одним из способов повышения качества и конкурентоспособности продукции, обеспечения устойчивого развития организации является разработка и внедрение систем менеджмента качества, базирующихся на требованиях международных стандартов, например, стандартов ИСО серии 9000 [1]. При этом осуществляется совершенствование производственных систем организаций за счет изменения модели организации производства, внедрения современных подходов повышения качества продукции и удовлетворенности потребителей.

Производственная система (ПС) – это сложная система внутриорганизационных отношений и взаимосвязей, состоящая из сети подчиненных подсистем, обеспечивающих функционирование производственных и технологических процессов [2–4].

При проектировании ПС необходимо установить принципы ее функционирования, методы взаимодействия между подсистемами, в результате чего принимаются решения по информационному обеспечению системы с целью реализации ее функций [5]. Разработка информационной программы анализа состояния производственной системы будет способствовать непрерывному комплексному совершенствованию организации.

Под влиянием изменяющихся внешних и внутренних факторов могут возникать отклонения от целевых значений, приводящие к необходимости регулировки и устранения причин несоответствий, мешающих обеспечению развития системы.

Измерение, оценка и анализ состояния ПС позволяет установить направление деятельности по улучшению производственных процессов и разрабатывать мероприятия, направленные на обеспечение результативности всей ПС в целом [6, 7].

Создание ПС – целенаправленный процесс объединения ее отдельных элементов для обеспечения эффективного функционирования организации в целом и достижения ее целей в области качества.

Одним из показателей, определяющих качество производственной системы, является ее результативность, т. е. способность создавать продукцию, удовлетворяющую требованиям потребителей [8].

Результаты и обсуждение

Производственная система является открытой системой, она связана и обменивается с внешней средой информацией, ресурсами и т. п. (рисунок 1).

Рассматриваемые свойства ПС обеспечиваются системой управления, включающей в себя три уровня: стратегический; тактический; операционный (рисунок 2).

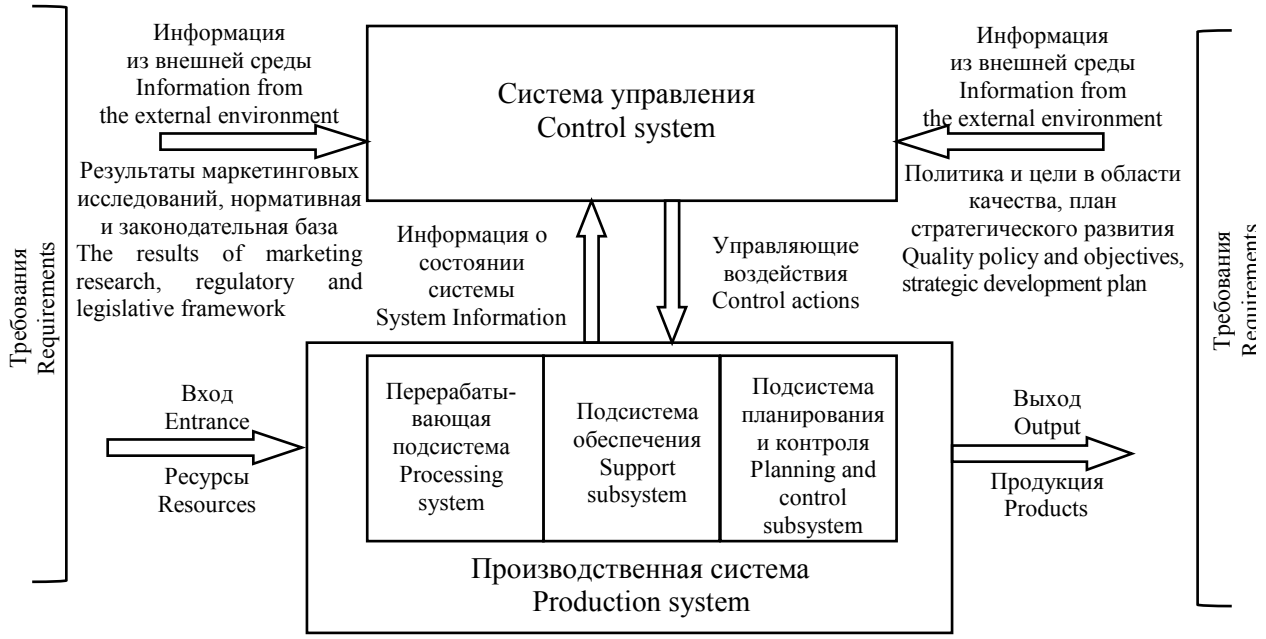


Рисунок 1. Модель производственной системы

Figure 1. Productionsystemmodel

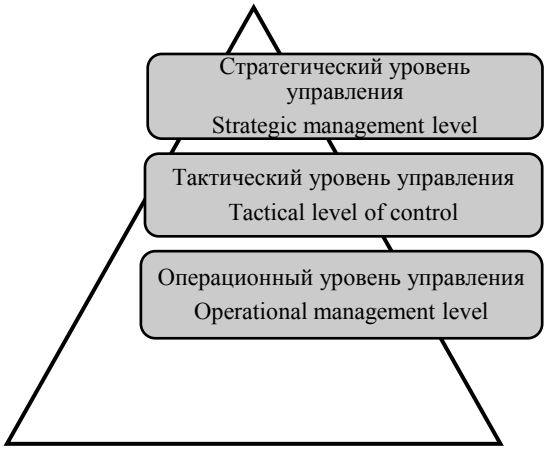


Рисунок 2. Структура системы управления

Figure 2. The structure of the control system

Опыт российских предприятий, использующих современные принципы организации производства, показал, что наибольшие усилия по выявлению и устранению «узких мест» производства затрачиваются на операционном уровне управления, поэтому в рамках данной работы будет рассматриваться этот уровень.

В данном случае ПС будет называется операционной системой, состоящей из трех подсистем:

а) перерабатывающей подсистемы, непосредственно связанной с технологическими процессами преобразования сырья и полуфабрикатов в готовую продукцию;

б) подсистемы обеспечения, выполняющей вспомогательные функции, необходимые для осуществления основных технологических процессов;

в) подсистемы планирования и контроля, получающей и обрабатывающей информацию из внутренней и внешней среды организации.

Характеристики качества производственной системы [9] будут величинами переменными, зависящими от оперативности и качества управляющих воздействий.

Современные условия хозяйствования требуют от производственной системы надежности, гибкости и управляемости [10, 11]. Под надежностью системы $K_н$ будем понимать ее способность функционировать в условиях неопределенности внешней и внутренней среды. Гибкость системы $K_г$ означает ее приспособляемость к изменениям требований потребителей, рынка, законодательства. Управляемость системы $K_у$ – это способность в установленный период времени достигать намеченных стратегических и тактических целей, используя при этом имеющиеся ресурсы [12, 13].

При этом для оценки результативности подсистем будем использовать систему показателей $\{K_н, K_г, K_у\}$ (рисунок 3). Все эти показатели должны достоверно оценивать деятельность подсистем, на операционном уровне управления должны быть понятны сотрудникам и руководителям подразделений, легко определяться и быть актуальными в установленный момент времени.

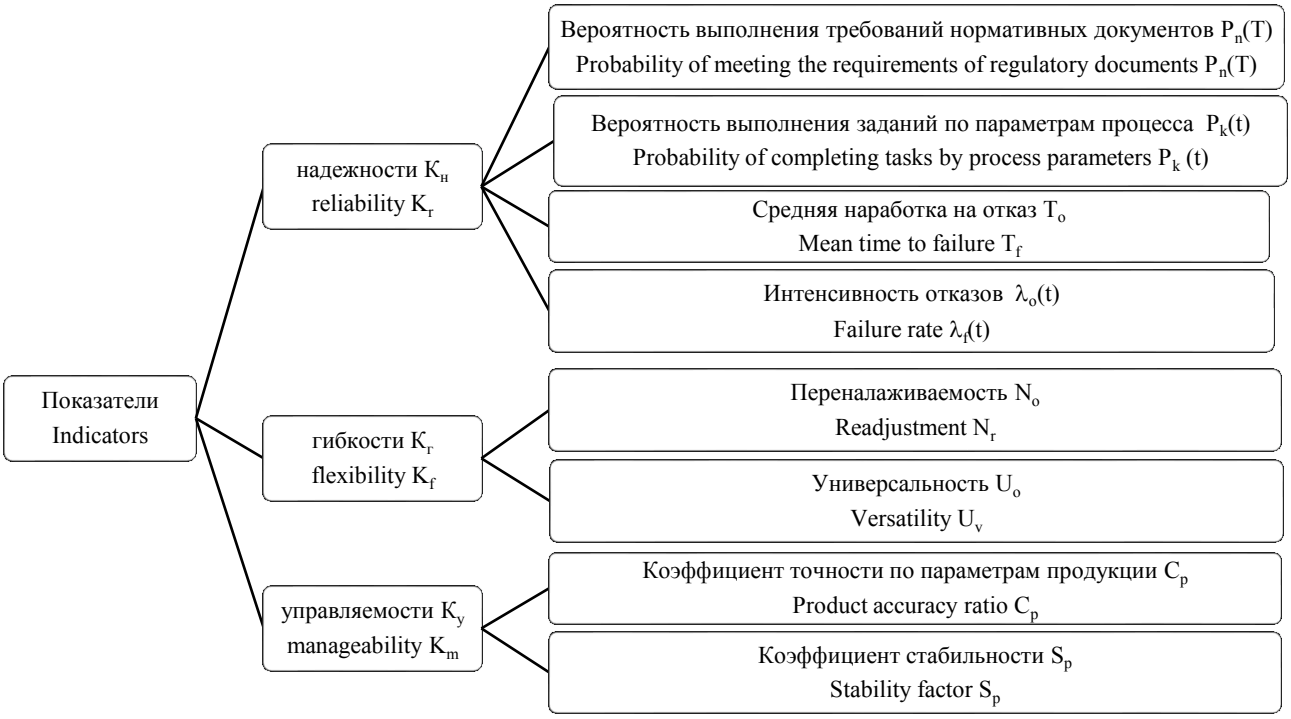


Рисунок 3. Дерево свойств производственной операционной системы

Figure 3. Property tree of the production operating system

Поскольку объем анализируемой информации достаточно большой, требуется создание автоматизированной системы для ее обработки, при этом должны быть решены следующие задачи:

а) создание единого информационного пространства для всех сотрудников;

б) оперативный мониторинг результативности деятельности подсистем;

в) установление приоритетных направлений деятельности для достижения целей в области качества.

Получаемые исходные данные позволяют на первом этапе рассчитывать фактические значения показателей, затем они сравниваются с соответствующими нормативными значениями и определяются «узкие места». Владельцы процессов со значениями показателей, вышедших за плановые границы, уведомляются, производится анализ причин и вырабатываются управляющие воздействия.

Задача построения автоматизированной информационной системы связана с необходимостью интеграции с подсистемами сбора и анализа данных, с наглядным представлением информации для принятия решений на всех уровнях. Построение информационной системы управления ПС невозможно без мощной инфраструктуры, без наличия единой информационной системы поддержки и управления технологическими процессами.

Заключение

Предложенная информационная система будет способствовать автоматизации процессов управления процессами организации, быстро формировать стратегические и тактические цели организации. В течение заданного промежутка времени будет производиться сбор и анализ данных из внутренней и внешней среды, своевременно выполняться анализ отклонений значений показателей от плановых величин. Результат обработки информации будет своевременно визуализироваться как для каждого сотрудника, так и производственной системы организации в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1 ГОСТ Р ИСО 9001–2015. Системы менеджмента качества. Требования. М.: Стандартинформ, 2015. 24 с.

2 Айларова З.К., Дзагоева М.Р. Управление развитием производственных систем предприятий // Устойчивое развитие горных территорий. 2014. № 1. С. 87–92.

3 Тушавин В.А. Производственная система как интегрированная система менеджмента качества: Роль информационных технологий // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. 2014. № 12. С. 54–59.

4 Гурман Д.В. Производственная система не предприятии как современный подход к интегрированной системе качества // Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право. 2015. № 7–8. С. 15–18.

5 Попов А.П., Битюков В.К., Тихомиров С.Г., Неизвестный О.Г. и др. Системный анализ реактора дегидрирования этилбензола как объекта управления // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 2. С. 77–85. doi:10.20914/2310-1202-2018-2-77-85.

6 Ohno T. Toyota production system: beyond large-scale production. CRC Press, 2014.

7 Spear S., Bowen H.K. Decoding the DNA of the Toyota production system // Harvard business review. 2015. V. 77. №. 5. P. 96-106.

8 Назина Л.И., Лихачева Л.Б. Проектирование производственных систем на предприятиях агропромышленного комплекса // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 1. С. 497–500. doi:10.20914/2310–1202–2017–1–497–500.

9 Lean D.P. Production simplified: A plain-language guide to the world's most powerful production system. Boca Raton: CRC Press, 2016. 215 p.

10 Лихачева Л.Б., Назина Л.И., Шевцова Н.А. Разработка комплексного показателя оценки процессов интегрированных систем менеджмента // Экономика. Инновации. Управление качеством. 2015. № 1 (10). С. 110–112.

11 Stevenson W.J., Hojati M., Cao J. Operations management. Boston: McGraw-Hill/Irwin, 2014.

12 Bennett P.N., Dumais S.T., Horvitz E. Probabilistic combination of text classifiers using reliability indicators: Models and results // Proceedings of the 25th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. New York: ACM, 2002. P. 207–214.

13 ГОСТ 27.202–83. Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготовляемой продукции. М.: Изд-во стандартов, 2002. 95 с.

14 Fragassa C., Pavlovic A., Massimo S. Using a total quality strategy in a new practical approach for improving the product reliability in automotive industry // International Journal for Quality Research. 2014. V. 8. №. 3. P. 297-310.

REFERENCES

1 GOST R ISO 9001–2015. Sistemy menedzhmenta kachestva. Trebovaniya [State Standard 9001–2015. Quality management system. Requirements]. Moscow, Standartinform, 2015. 24 p. (in Russian).

2 Aylarova Z.K., Dzagoeva M.R. Management of production systems development of enterprises. *Ustojchivoe razvitie gornyh territorij* [Sustainable development of mountain territories]. 2014. no. 1. pp. 87–92. (in Russian).

3 Tushavin V.A. Production system as an integrated system of quality management: The role of information technologies. *Problemy ehkonomiki i upravleniya neftegazovym kompleksom* [Problems of Economics and management of oil and gas complex]. 2014. no. 12. pp. 54–59. (in Russian).

4 Gurman D.V. Production system at the enterprise as a modern approach to integrated quality system. *Sovremennaya nauka: Aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Ehkonomika i pravo* [Modern science: Actual problems of theory and practice. Series: Economics and law]. 2015. no. 7–8. pp. 15–18. (in Russian).

5 Popov A.P., Bityukov V.K., Tikhomirov S.G., Unknown O.G. et al. System analysis of the reactor for the dehydrogenation of ethylbenzene as a control object. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 2. pp. 77–85. doi:10.20914/2310-1202-2018-2-77-85. (in Russian).

6 Ohno T. Toyota production system: beyond large-scale production. CRC Press, 2014.

7 Spear S., Bowen H.K. Decoding the DNA of the Toyota production system. Harvard business review. 2015. vol. 77. no. 5. pp. 96-106.

8 Nazina L.I., Likhacheva L.B. Design of production systems at the enterprises of agroindustrial complex. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2017. vol. 79. no. 1. pp. 497–500. doi:10.20914/2310–1202–2017–1–497–500. (in Russian).

9 Lean D.P. Production simplified: A plain-language guide to the world's most powerful production system. Boca Raton, CRC Press, 2016. 215 p.

10 Likhacheva L.B., Nazina L.I., Shevtsova N.A. The development of an integrated indicator of an estimation of processes of the integrated management system. *Ehkonomika. Innovacii. Upravlenie kachestvom* [Economics. Innovations. Quality management]. 2015. no. 1 (10). pp. 110–112. (in Russian).

11 Stevenson W.J., Hojati M., Cao J. Operations management. Boston, McGraw-Hill/Irwin, 2014.

12 Bennett P.N., Dumais S.T., Horvitz E. Probabilistic combination of text classifiers using reliability indicators: Models and results. Proceedings of the 25th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. New York, ACM, 2002. pp. 207–214.

13 GOST 27.202–83. Nadezhnost' v tekhnike. Tekhnologicheskie sistemy. Metody ocenki nadezhnosti po parametram kachestva izgotovlyaemoj produkcii [State Standard 27.202–83. Reliability in technology. Technological system. Methods of reliability assessment on the parameters of quality of manufactured products]. Moscow, Publishing house of standards, 2002. 95 p. (in Russian).

14 Fragassa C., Pavlovic A., Massimo S. Using a total quality strategy in a new practical approach for improving the product reliability in automotive industry. International Journal for Quality Research. 2014. vol. 8. no. 3. pp. 297-310.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Людмила Б. Лихачева к.т.н., доцент, кафедра технической механики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lbmila@yandex.ru

Людмила И. Назина к.т.н., доцент, кафедра управления качеством и технологии водных биоресурсов, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, nazina_lyudmila@mail.ru

Анастасия В. Ломанова магистрант, кафедра управления качеством и технологии водных биоресурсов, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lomanova-94@mail.ru

Надежда А. Черных студент, кафедра управления качеством и технологии водных биоресурсов, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, chernyh.nadezhda@yandex.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 18.10.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 23.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Lyudmila B. Likhacheva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technical mechanics department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lbmila@yandex.ru

Lyudmila I. Nazina Cand. Sci. (Engin.), associate professor, quality management and aquatic biological technology department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, nazina_lyudmila@mail.ru

Anastasia V. Lomanova master student, quality management and aquatic biological technology department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lomanova-94@mail.ru

Nadeshda A. Chernykh student, quality management and engineering technology department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, chernyh.nadezhda@yandex.ru

CONTRIBUTION

All authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.18.2018

ACCEPTED 11.23.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 64

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-133-137

Методика статистического анализа стационарной кинетической модели ячейки идеального смешения

Владимир М. Зароченцев [1] vlazarm@gmail.com
Татьяна В. Кондратенко [1] starikova.tatiana@yandex.ru
Алла К. Макоева [1] makoeva_alla@mail.ru

[1] Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технический университет), ул. Николаева, 44, г. Владикавказ, 362021, Россия

Аннотация. В статье рассмотрена методика статистического анализа стационарной кинетической модели ячейки идеального смешения, которую можно применить для аппаратов, использующих пространственную комбинацию ячеек идеального смешения. Разработана имитационная модель процессов взаимодействия двух веществ в прямоточном реакторе идеального смешения и построены графики химического взаимодействия этих веществ. Проведена параметрическая идентификация имитационной модели методом наименьших квадратов. Оценена адекватность полученной модели с помощью F-критерия и гипотезы о неоднородности дисперсий случайных процессов и функций. Оценены доверительные интервалы коэффициентов линеаризованного уравнения с помощью t-критерия, определена значимость коэффициентов для выбранной формы уравнения. Полученные значения доверительных интервалов обусловлены заложенными в имитационную модель стохастическими факторами и взаимным влиянием отклонений разных параметров. Результаты расчетов приведены в примере 1 и примере 2. Величина относительной ошибки для выходных концентраций составила более 10%. Поэтому было выполнено усреднение по пяти повторным наблюдениям в каждой точке для уменьшения дисперсии. Усредненные значения параметров пригодны для имитационного моделирования и анализа процессов. Результаты исследований можно использовать для разработки методов математического моделирования и анализа в стационарных химико-технологических процессов, протекающих в растворах.

Ключевые слова: кинетическая модель, материальный баланс, моделирование, идеальное смешение, стохастическое уравнение

Methods of statistical analysis stationary kinetic model ideal mixing cell

Vladimir M. Zarochentsev [1] vlazarm@gmail.com
Tatiana V. Kondratenko [1] starikova.tatiana@yandex.ru
Alla K. Makoeva [1] makoeva_alla@mail.ru

[1] North Caucasian mining and metallurgical institute (State Technical University), Vladikavkaz, 362021, Russia

Abstract. The article describes the statistical analysis method of the stationary kinetic model of perfect mixing cell which can be applied to devices using spatial combination of perfect mixing cells. A simulation model of interaction of two substances in a continuous-flow reactor of perfect mixing and graphs of chemical interaction of the substances is elaborated. A parametric simulation model identification method of least squares is conducted. The adequacy of the model obtained using the F-test and the hypothesis of heterogeneity of variances of random processes and functions is evaluated. The possible intervals of the linear zed equation coefficients using t-test are significance estimated coefficients are determined for the chosen form of the equation. The obtained values of the possible intervals are caused by in the stochastic factors simulation model by and mutual influence of deviations of different parameters. The calculation results are shown in Example 1 and Example 2. The relative error for output concentration was more than 10%. Therefore averaging over five repeated observations at each point in order to reduce the dispersion was performed. The averaged values of the parameters are suitable for the simulation and analysis processes. The results of research can be used for the development of mathematical modeling methods and analysis in fixed-chemical processes occurring in solutions.

Keywords: the kinetic model, material balance, modeling, perfect mixing, the stochastic equation

Введение

Многие процессы в технологических аппаратах могут быть описаны с помощью уравнений материального баланса химических реакций для ячейки идеального смешения. Такие модели применяются как для отдельных аппаратов, характеристики которых приближены к идеальному смешению, так и для объектов, которые можно разбить на пространственную комбинацию ячеек идеального смешения.

Бимолекулярные реакции встречаются чаще, поэтому в имитационной модели процесс взаимодействия двух веществ А и В описывается по стехиометрическому уравнению (1). Скорость этой реакции определяется уравнением:

$$\frac{dC_A}{d\tau} = -K_C C_A^{\lambda_A} C_B^{\lambda_B}. \qquad (1)$$

Для цитирования
Зароченцев В.М., Кондратенко Т.В., Макоева А.К. Методика статистического анализа стационарной кинетической модели ячейки идеального смешения // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 133–137. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-133-137

For citation
Zarochentsev V.M., Kondratenko T.V., Makoeva A.K. Methods of statistical analysis stationary kinetic model ideal mixing cell. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 133–137. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-133-137

Система уравнений баланса потоков имитационной модели имеет вид:

$$\tilde{\quad} \quad \tilde{\quad} \quad \Gamma\left(\right) C_A^{\lambda_A} C_B^{\lambda_B} V, \qquad (2)$$

$$\tilde{\quad} \quad \tilde{\quad} \quad \Gamma\left(\right) C_A^{\lambda_A} C_B^{\lambda_B} V, \qquad (3)$$

где знак "~" – означает влияние случайной составляющей на значение соответствующего параметра; в уравнениях вводится знак приближенного равенства, потому что случайные факторы могут нарушить мгновенный баланс потоков; температура процесса T хотя и является переменной, но в данном процессе не подвергается стохастическому воздействию.

Графики имитационного моделирования химического взаимодействия веществ в проточном реакторе идеального смешения в стационарном режиме по уравнениям (2)–(3) приведены на рисунке.

Для параметрической идентификации имитационной модели, описываемой в уравнениях (2)–(3), удобно использовать линейный метод наименьших квадратов, который реализуется уравнением

$$A = \left(U(X)^T U(X)\right)^{-1} U(X)^T Y. \qquad (4)$$

Формулу (4) можно применять к линеаризованному уравнению (2), которое получено при логарифмировании выражений (2)–(3). В результате получается линейное уравнение вида:

$$y = a_0 + a_1 u_1(X) + a_2 u_2(X) + a_3 u_3(X). \quad (5)$$

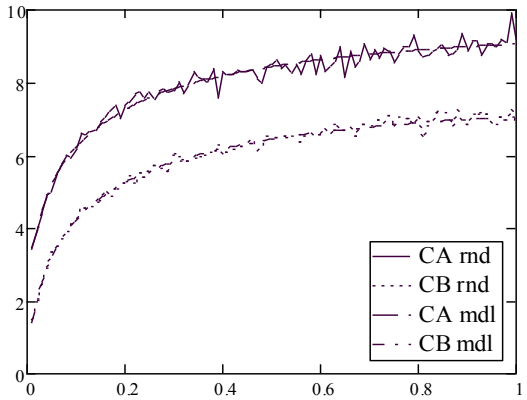


Рисунок 1. Моделирование изменения концентраций веществ A и B по уравнениям (1) и (2) в зависимости от скорости подачи раствора при заданной температуре в ячейке; CArnd, CBrnd – рандомизированные по закону нормального распределения; CAmdl, CBmdl – средние, без стохастической составляющей

Figure 1. Modelling of changes in concentrations of substances A and B by equations (1) and (2) depending on the flow rate of the solution at the specified temperature in the cell; CArnd, CBrnd – randomized under the law of normal distribution; SA CAmdl, CBmdl – middle, without stochastic component

Элементы уравнения (5) преобразуются из уравнения (2) с помощью следующих соотношений:

$$y = \ln(v) + \ln\left(C_{A_0} - C_A\right), \qquad (6)$$

$$X = \{T, C_A, C_B\}, \qquad (7)$$

$$a_0 = \ln(k_0) + \ln(V), \qquad (8)$$

$$a_1 = -\frac{E_a}{R}, \qquad (9)$$

$$a_2 = \lambda_A, a_3 = \lambda_B, \qquad (10)$$

$$u_1(X) = \frac{1}{T}, \qquad (11)$$

$$u_2(X) = \ln C_A, u_3(X) = \ln C_B. \qquad (12)$$

Для определения значений элементов матрицы А были получены экспериментальные данные методом планируемого имитационного эксперимента «3^4» с тремя уровнями и четырьмя независимыми факторами в условиях стохастической неопределённости 1–5% (всего 81 точка).

Применяя выражение (4) к экспериментальным данным, преобразованным с помощью выражений (6)–(12), получается матрица коэффициентов уравнения (5):

A = (-3,507; - 239,789; - 0,9; - 1,099).

Провели исследование полученной модели на адекватность результатам имитационного моделирования (рисунок 1). Для этого разделили показатели и независимые параметры в правой и левой частях линеаризованного уравнения (5) и уравнения материального баланса (2):

$$\ln(v) + \ln\left(C_{A_0} - C_A\right) =$$

$$\ln(K_C) + \ln(V) + \lambda_A \ln(C_A) + \lambda_B \ln(C_B), \quad (13)$$

$$\tilde{\quad} \quad \left(\right) = K_C(T) C_A^{\lambda_A} C_B^{\lambda_B} V. \quad (13)$$

Провели оценку адекватности с помощью F-критерия и гипотезы о неоднородности дисперсий случайных процессов и функции. Для этого вычислили отношение двух дисперсий, которое является оценкой значения F-критерия для выборки наблюдений:

$$F = \frac{D_{\max}}{D_{\min}} \geq F_{tbl}, \qquad (14)$$

где F_{tbl} – табличное значение F-критерия, которое рассчитывается с помощью функции $qF(a, f_{\max}, f_{\min})$.

Задачей определения адекватности с помощью F – критерия являлась проверка гипотезы о том, что случайные изменения наблюдаемых значений в экспериментальных точках и отклонения значений функции от средних наблюдений вызваны разными случайными процессами. Если дисперсии однородны, то аппроксимация экспериментальных данных фактически превращается в интерполяцию, и функциональная зависимость не описывает с выбранным уровнем надежности неслучайные закономерности.

Определили дисперсию воспроизводимости левой части уравнения (13) по формуле

$$D_Y = \frac{\sum_{j=0}^{N-1}\sum_{i=0}^{m-1}\left(\overline{y_j} - y_{j,i}\right)^2}{N\left(m-1\right)}.$$

Определили дисперсию адекватности модели как отношение суммы квадратов отклонений расчетных значений от средних к числу степеней свободы, равному разнице между числом экспериментов и коэффициентов модели:

$$D_{Yad} = \frac{m\sum_{j=0}^{N-1}\left(\overline{y_j} - a_0 - a_1u_1\left(X\right) - a_2u_2\left(X\right) - a_3u_3\left(X\right)\right)^2}{N-4}$$

Для уравнения (14) вычислили дисперсии воспроизводимости и адекватности:

$$D_G = \frac{\sum_{j=0}^{N-1}\sum_{i=0}^{m-1}\left(\overline{g_j} - g_{j,i}\right)^2}{N\left(m-1\right)},$$

$$D_{Gad} = \frac{m\sum_{j=0}^{N-1}\left(\overline{g_j} - F\left(A,X\right)\right)^2}{N-4},$$

где $F\left(A,X\right)$ – правая часть уравнения (13); A – матрица коэффициентов; X – матрица параметров.

Имитационное исследование показало, что условие (15) выполняется при повышении точности поддержания параметров и измерения показателей моделирования. Можно отметить, что уравнение (14) дает большую однородность, чем уравнение (13), что справедливо для исходного уравнения.

Провели оценку доверительных интервалов коэффициентов линеаризованного уравнения с помощью t – критерия. Целью данного оценивания являлось определение значимости коэффициентов для выбранной формы уравнения. Коэффициент считается значимым, если его абсолютная величина больше соответствующего доверительного интервала.

Для этого вычислили матрицу дисперсий-ковариаций коэффициентов:

$$D_{cov} = D_Y\left(U\left(X\right)^T U\left(X\right)\right)^{-1}.$$

На главной диагонали матрицы D_{cov} находятся оценки дисперсий коэффициентов уравнения (13). Доверительные интервалы рассчитали по формуле

$$I_j = t_{\alpha,f}\sqrt{D_{cov\,j,j}},\ \left(j = 0, \ldots, 3\right),$$

где α – доверительная вероятность; f – число степеней свободы.

Результаты расчета приведены в примере 1.

Пример 1. Анализ доверительных интервалов коэффициентов модели.

Вычисляем матрицу дисперсий-ковариаций коэффициентов:

$$i := 0..3$$

$$DC := D_Y\left(U^T \cdot U\right)^{-1}$$

$$DC = \begin{pmatrix} 2.295\times 10^{-4} & -0.07 & -4.601\times 10^{-6} & -4.601\times 10^{-6} \\ -0.07 & 22.768 & 0 & 0 \\ -4.601\times 10^{-6} & 0 & 2.787\times 10^{-6} & 0 \\ -4.601\times 10^{-6} & 0 & 0 & 2.787\times 10^{-6} \end{pmatrix} \quad (I)$$

$$qt(0.95, N\cdot m) = 1.648$$

$$I_i := qt(0.95, N\cdot m)\cdot\sqrt{DC_{i,i}}$$

$$I = \begin{pmatrix} 0.025 \\ 7.863 \\ 2.751\times 10^{-3} \\ 2.751\times 10^{-3} \end{pmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} -3.507 \\ -239.789 \\ 0.9 \\ 1.099 \end{pmatrix}$$

Полученные в результате расчета в матрице I доверительные интервалы значительно меньше по абсолютной величине значений коэффициентов модели, приведенных в матрице А:

$$I_{i,i} \geq A_{i,i},\ \left(i = 0, \ldots, 3\right).$$

Следовательно, рассчитанные коэффициенты модели являются значимыми.

Оценили доверительные интервалы концентраций веществ на выходе из ячейки с помощью t – критерия:

$$I_X = t_{\alpha,f_x}\sqrt{D_X}, \qquad (16)$$

где D_X – оценка дисперсии концентрации вещества X в выходном растворе (А или В); f_x – число степеней свободы.

Целью данного оценивания является проверка гипотезы о значимости параметров модели в исследуемой области.

Оценку дисперсии выходных веществ рассчитали по формуле

$$D_X = \frac{\sum_{j=0}^{N-1}\sum_{i=0}^{m}\left(\overline{x}_j - x_{j,i}\right)^2}{N \cdot m}, \qquad (17)$$

где $\overline{x}_j$ – среднее значение концентрации вещества X в выходящем растворе в *j*-й точке плана экспериментов, $x_{j,i}$ – наблюдаемое *i*-е значение в *j*-й точке.

Результаты вычислений дисперсии и доверительных интервалов по формулам (16) и (17) приведены в примере 2.

Пример 2. Определяем доверительные интервалы выходных концентраций:

$$D_A := \frac{\sum_{j=0}^{N-1}\sum_{i=0}^{4}\left(CA_{mdl_j} - Par_Cout_{j,i}\right)^2}{N \cdot m}$$

$$D_B := \frac{\sum_{j=0}^{N-1}\sum_{i=5}^{9}\left(CB_{mdl_j} - Par_Cout_{j,i}\right)^2}{N \cdot m}$$

$$I_A := qt(0.95, N \cdot m) \cdot \sqrt{D_A} \quad I_B := qt(0.95, N \cdot m) \cdot \sqrt{D_B}$$

$$I_A = 1.013 \quad I_B = 0.892$$

Значения доверительных интервалов составили: для вещества А – 1,013 и для вещества В – 0,892. Такие отклонения обусловлены заложенными в имитационную модель стохастическими факторами и взаимным влиянием отклонений разных параметров: температуры и концентраций. По сравнению с заданным диапазоном моделирования такие отклонения являются допустимыми, а параметры – значимыми.

Относительную ошибку определения выходных концентраций при заданном диапазоне моделирования и рассчитанных доверительных интервалах определили по формуле

$$\varepsilon_x = \frac{I_x}{L_x},$$

где L_x – диапазон значений параметра *x*.

Величина относительной ошибки для выходных концентраций составила более 10%. Поэтому было выполнено усреднение по пяти повторным наблюдениям в каждой точке для уменьшения дисперсии. Усредненные значения параметров пригодны для имитационного моделирования и анализа процессов.

Выводы

1. В данном исследовании рассмотрены задачи имитационного моделирования кинетики химических реакций и материального баланса в стационарных условиях для реактора идеального смешения.

2. Выполнен анализ модели на адекватность с применением статистических критериев.

3. Результаты исследований полезны для разработки методов математического моделирования и анализа стационарных химико-технологических процессов, протекающих в растворах.

ЛИТЕРАТУРА

1 Дудников Е.Г., Балакирев В.С., Кривосунов В.Н., Цирлин А.М. Построение математических моделей химико-технологических объектов. Ленинград: Химия, 2013. 312 с.

2 Зароченцев В.М., Старикова Т.В. Оптимизация статических характеристик идеальных реакторов с использовнием пакета программ MATHCAD // Цветная металлургия. 2005. № 3. С. 31–34.

3 Kunieda Y., Sawamoto H., Takeo O. Effects of dissolved oxygen on dissolution of ZnS in sulfuric acid solution // Journal of the Japan Institute of Metals and Materials. 2013. V. 37. № 8. P. 803–808.

4 Zhongwey Z., Hougguy L., Mocoshend L., Peimei S. et al. New leaching method in a wide range of particle sizes // J. Zhonghon gongue daxue bao S. Cent Univ. Techol. 2016. V. 27. №2. С.177–180.

5 Зароченцев В.М., Кондратенко Т.В., Макоева А.К. Решение уравнений материального баланса для ячейки идеального смешения // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: материалы XI международной научно-практической конференции. Пенза, 2018.

6 Brooks G., Write C.R. An algorithm for finding optimal or near optimal solutions to the production schedulind problem // The Journal of Industrial Engineering. 1965. V. 16. № 1.

7 Cumdwell F.K. Progress in the mathematical modeling of leaching reactors // Hydrometallurgy. № 4. P. 118–124.

8 Dixon D.G. Impruved methods for the desing of multistage leaching systems // Hydrometallurgy. 2015. V. 16. № 4. P. 118-123.

9 Дьяконов В.П. VisSim+Mathcad+MATLAB. Визуальное математическое моделирование. Москва: Солон-пресс, 2004. 384 с.

10 Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств: учебное пособие для вузов. Москва: Высшая школа, 2017. 400 с.

REFERENCES

1 Dudnikov E.G., Balakirev V.S., Krivosunov V.N., Tsirlin A.M. Construction of mathematical models of chemical-technological objects [Construction of Mathematical Models of Chemical-Technological Objects]. Leningrad, Chemistry, 2013. 312 p. (in Russian).

2 Zarochetsev V., Starikova V.V. Optimization of the static characteristics of ideal reactors using the MATHCAD software package. *Cvetnaya metallurgiya* [Non-ferrous metallurgy]. 2005. no. 3. pp. 31–34. (in Russian).

3 Kunieda Y., Sawamoto H., Takeo O. Effects of dissolved oxygen on dissolution of ZnS in sulfuric acid solution. Journal of the Japan Institute of Metals and Materials. 2013. vol. 37. no. 8. pp. 803–808. (in Japanese).

4 Zhongwey Z., Hougguy L., Mocoshend L., Peimei S. et al. New leaching method in a wide range of particle sizes. J. Zhonghon gongue daxue bao S. Cent Univ. Techol. 2016. vol. 27. no. 2. pp. 177–180.

5 Zarochentsev V.M., Kondratenko T.V. Makoeva A.K. Solving material balance equations for a perfect mixing cell. Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovacii [Fundamental and applied research: current issues, achievements and innovations: materials of the XI International Scientific and Practical Conference]. Penza, 2018. (in Russian).

6 Brooks G., Write C.R. An algorithm for finding optimal or near optimal solutions to the production schedulind problem. The Journal of Industrial Engineering. 1965. vol. 16. no. 1.

7 Cumdwell F.K. Progress in the mathematical modeling of leaching reactors. Hydrometallurgy. no. 4. pp. 118–124.

8 Dixon D.G. Impruved methods for the desing of multistage leaching systems. Hydrometallurgy. 2015. vol. 16. no. 4. pp. 118-123.

9 Dyakonov V.P. VisSim+Mathcad+MATLAB. Vizual'noe matematicheskoe modelirovanie [VisSim+ Mathcad+MATLAB. Visual mathematical modeling]. Moscow, Solon-Press, 2014. 384 p. (in Russian).

10 Kafarov V.V., Glebov M.B. Matematicheskoe modelirovanie osnovnyh processov himicheskih proizvodstv: uchebnoe posobie dlya vuzov [Mathematical modeling of the main processes of chemical production: a manual for higher education institutions]. Moscow, Higher school, 2017. 400 p. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Владимир М. Зароченцев к.т.н., доцент, МЦМАМП, Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технический университет), ул. Николаева 44, г. Владикавказ, 362021, Россия, vlazarm@gmail.com

Татьяна В. Кондратенко к.т.н., доцент, МЦМАМП, Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технический университет) , ул. Николаева 44, г. Владикавказ, 362021, Россия, starikova.tatiana@yandex.ru

Алла К. Макоева аспирант, МЦМАМП, Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технический университет), ул. Николаева 44, г. Владикавказ, 362021, Россия, makoeva_alla@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Владимир М. Зароченцев консультация в ходе исследования
Татьяна В. Кондратенко обзор литературных источников по исследуемой проблеме, выполнила расчёты
Алла К. Макоева написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 14.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 02.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Vladimir M. Zarochentsev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, North Caucasian mining and metallurgical institute (State Technical University), Vladikavkaz, 362021, Russia, vlazarm@gmail.com

Tatiana V. Kondratenko Cand. Sci. (Engin.), associate professor, North Caucasian mining and metallurgical institute (State Technical University), Vladikavkaz, 362021, Russia, starikova.tatiana@yandex.ru

Alla K. Makoeva graduate student, North Caucasian mining and metallurgical institute (State Technical University), Vladikavkaz, 362021, Russia, makoeva_alla@mail.ru

CONTRIBUTION

Vladimir M. Zarochentsev consultation during the study
Tatiana V. Kondratenko review of the literature on an investigated problem, performed computations
Alla K. Makoeva wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.14.2018

ACCEPTED 11.2.2018

Пищевая биотехнология

Оригинальная статья/Original article

УДК 637.17:615.857.061.1

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-138-144

Белковые ресурсы рыбного происхождения – источник здоровья и красоты

Людмила В. Антипова [1] antipova.l54@yandex.ru
Станислав А. Сторублевцев [1] c11111983@yandex.ru
Марина А. Пискова [1] mari-mari-mari.ya@yandex.ru
Юрий З. Химишев [2] himish92@mail.ru

[1] Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
[2] Адыгейская Республиканская Клиническая Больница, ул. Жуковского, 4, г. Майкоп, Республика Адыгея, 385000, Россия

Аннотация. Настоящая статья посвящена исследованию коллагенсодержащего сырья и полученных коллагеновых субстанций. Проведен гистоморфологический анализ, в результате которого получены данные о наличии коллагена в животном и рыбном сырье, но отличающегося более рыхлой структурой и меньшей толщиной волокон в случае рыбных шкур. Исследования фракционного состава показали, что превалирующей фракцией является щелочерастворимая, к которой относятся коллагеновые белки. Получены дисперсии коллагеновых белков из шкур внутренних водоемов и из спилка шкур КРС. Дисперсии близки по свойствам, но имеют и некоторые отличия, связанные со структурными особенностями. Полученные материалы для пищевой, косметической и медицинской промышленности, отвечают принципам рационального природопользования и являются экономически выгодным.Новые представления о роли коллагена в питании, создании оригинальных продуктов, необходимость развития нетрадиционных и совершенствования имеющихся технологий коллагеновых субстанций различной функциональности, требуют реализации подходов к обеспечению максимальной трансформации коллагенсодержащих ресурсов в полезные для человека продукты, материалы, средства.Значительная доля коллагеновых белков содержится в отходах рыбной промышленности. Коллаген рыбного происхождения и его производные, не так давно появившийся на мировом и отечественном рынках, представляет научно-практический интерес для пищевой промышленности, косметологии и медицины.В условиях санкций Евросоюза, США и сторонников, сокращение импорта натуральных полимерно-пленочных покрытий, поиск новых источников пленочный покрытий для пищевой поверхности наиболее целесообразен.

Ключевые слова: коллаген, белковые продукты рыбного происхождения, функциональные биополимеры, медицина, косметология, пищевая промышленность

Protein of fish origin – a source of health and beauty

Lyudmila V. Antipova [1] antipova.l54@yandex.ru
Stanislav A. Storublevtsev [1] c11111983@yandex.ru
Marina A. Piskova [1] mari-mari-mari.ya@yandex.ru
Yuriy Z. Himishev [2] himish92@mail.ru

[1] Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
[2] Adyghe Republican Clinical Hospital, Zhukovsky Street, 4, Maikop, Adyghe Republican, 385000, Russia

Abstract. This article is devoted to the study of collagen-containing raw materials and obtained collagen substances. Histomorphological analysis was carried out, which resulted in data on the presence of collagen in animal and fish raw materials, but characterized by a loose structure and a smaller thickness of fibers in the case of fish skins. Studies of the fractional composition showed that the predominant fraction is alkali-soluble, which include collagen proteins. The obtained dispersion of collagen fibers of the hides of inland water bodies and split leather from cattle hides. Dispersions are similar in properties, but have some differences associated with structural features. The materials obtained for the food, cosmetic and medical industries meet the principles of rational nature management and are economically viable.New ideas about the role of collagen in nutrition, the creation of original products, the need to develop unconventional and improve existing technologies of collagen substances of various functionalities, require the implementation of approaches to ensure maximum transformation of collagen-containing resources into human products, materials and tools.New ideas about the role of collagen in nutrition, the creation of original products, the need to develop unconventional and improve existing technologies of collagen substances of various functionalities, require the implementation of approaches to ensure maximum transformation of collagen-containing resources into human products, materials and tools.
In terms of sanctions of the European Union, the United States and supporters, reducing the import of natural polymer-film coatings, finding new sources of film coatings for the food surface is most appropriate.

Keywords:collagen, protein fish products, functional biopolymers, medicine, cosmetology, food industry.

Для цитирования
Антипова Л.В., Сторублевцев С.А., Пискова М.А., Химишев Ю.З. Белковые ресурсы рыбного происхождения – источник здоровья и красоты // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 138–144. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-138-144

For citation
Antipova L.V., Storublevtsev S.A., Piskova M.A., Himishev Yu.Z. Protein of fish origin – a source of health and beauty. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 138–144. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-138-144

Введение

Анализ современных отраслей экономики России свидетельствует о том, что на сегодняшний день практически отсутствует отечественное производство продуктов модификации соединительных тканей животных и их производных для использования в качестве эффективных материалов и средств для пищевой промышленности, косметологии, медицины, в том числе для регенерации и омоложения кожи, биосовместимых для человека. В то же время можно констатировать, что сырьевые источники для их получения сосредоточены в виде вторичных и малоценных продуктов перерабатывающих отраслей АПК, прежде всего мясной и рыбной.

Однако анализ научно-технической и патентной литературы показал актуальность разработки прогрессивных технологий на основе управляемого биокатализа с использованием в качестве специфических субстратов биополимеров в составе побочного сырья перерабатывающих отраслей АПК с получением коллагеновых субстанций различной степени чистоты и в разнообразных формах: дисперсии, пленки. Развитие и внедрение таких технологий в производство решает многие существующие проблемы, связанные с созданием здоровых продуктов питания, новых форм пищи, съедобных покрытий для пролонгирования сроков хранения и повышения качества продуктов в режиме экономии и целенаправленного использования ресурсов.

Стратегической целью продовольственной безопасности Российской Федерации до 2020 года является обеспечение населения страны безопасной сельскохозяйственной продукцией. Среди основных направлений государственной экономической политики в сфере обеспечения продовольственной безопасности значится создание новых технологий глубокой и комплексной переработки продовольственного сырья.

Формирование здорового типа питания потребует развития фундаментальных и прикладных научных исследований по медико-биологической оценке безопасности новых источников пищи и ингредиентов, внедрению инновационных технологий, включающих био- и нанотехнологии, технологии органического производства пищевых продуктов и продовольственного сырья, по наращиванию производства новых обогащенных диетических и функциональных пищевых продуктов.

Развитие теоретических и практических основ технологии биополимерных материалов на основе рационального использования основных и побочных ресурсов рыбного происхождения актуально в условиях действующей экологической напряженности и дефицита отечественных аналогов высокотехнологичных материалов при использовании белков соединительных тканей (в основном коллагенов) для обеспечения здоровья, молодости, красоты и увеличения продолжительности жизни путем использования коллагеновых продуктов, материалов в составе пищи, косметологии и медицины.

К таким ингредиентам относится коллаген. Данный белок получают из продуктов разделки свинины и крупного рогатого скота. Аналога рыбного коллагена на российском рынке нет.

Однако из-за болезни бешенства и угрозы передачи вируса человеку встал вопрос о поиске альтернативных источников. В 2000 г. в Европе стартовал большой проект, объединивший семь компаний и научных институтов по изучению коллагена из отходов переработки морских рыб[1].

В России в связи с санкциями существенно сократился импорт рыбного сырья и продуктов. Поэтому актуален поиск замены зарубежного сырья на отечественное. По мнению авторов [2], источниками коллагена могут служить побочные продукты и отходы при глубокой переработке прудовых рыб. Данные белки имеют важное значение в пищевой, косметической и медицинской промышленности.

Материалы и методы

В ходе эксперимента в качестве объектов исследования использовали шкуры рыб внутренних водоемов, наиболее распространенных видов Центрально-Черноземного региона: толстолобик, сазан, белый амур, щука [3].

Коллагеновые рыбные дисперсии получали в лабораторных условиях по разработанной авторами технологии и определяли аминокислотный состав (методом ионообменной хроматографии на автоматическом аминокислотном анализаторе ААА-881 (Чехия) в соответствии с инструкцией к прибору), физико-химические свойства субстанции, гистоморфологические особенности [4] (Таблицы 1, 2).

Результаты и обсуждение

Структура коллагена

Коллаген является самым распространенным белком не только межклеточного матрикса, но всего организма в целом, составляет около $^1/_3$ всех белков организма человека. Около 40% коллагена содержится в коже, примерно 50% – в тканях скелета и лишь 10% – в строме внутренних органов. Отличается от остальных белков организма высоким содержанием аминокислот глицина, пролина и гидроксипролина, присутствие которых обусловливает его жесткость [5].

Таблица 1.

Характеристика аминокислотного состава коллагеновой субстанции

Table 1.

Characteristics of amino acid composition of collagen substance

Показатель Indicator	Субстанция 2%-ный раствор (шкура толстолобика) Substance 2% solution (silver carp skin)	Отклонения в сравнении с животным коллагеном Deviations compared to animal collagen
Изолейцин | Isoleucine	3,83	+0,94
Лейцин | Leucine	1,98	-0,23
Тирозин | Tyrosine	0,99	+0,13
Финилаланин | Finilalanin	2,49	+0,14
Гистидин | Histidine	0,77	-0,4
Лизин | Lysine	4,16	-1,36
Аргинин | Arginine	8,33	+1,53
Аспаргиноваякислота | Aspartic acid	7,12	+0,86
Треонин | Threonine	2,46	+0,50
Серин | Serine	4,57	+1,6
Глутаминоваякислота | Glutamic acid	11,36	+1,57
Пролин | Proline	11,67	-1,43
Оксипролин | Hydroxyproline	12,93	+2,1
Глицин | Glycine	6,72	+0,69
Аланин | Alanine	10,51	+3,92
Валин | Valin	2,65	+1,33
Метионин | Methionine	1,03	-0,51
Глутаминоваякислота | Glutamic acid	11,36	+1,57
Пролин | Proline	11,67	-1,43
Оксипролин | Hydroxyproline	12,93	+2,1
Глицин | Glycine	6,72	+0,69
Аланин | Alanine	10,51	+3,92
Валин | Valin	2,65	+1,33
Метионин | Methionine	1,03	-0,51

Таблица 2.

Физико-химические свойства коллагеновой субстанции

Table2.

Physical and chemical properties of collagen substance

Показатель Indicator	Субстанция 2%-ый раствор (шкура толстолобика) Substance 2% solution (silver carp skin)
Подлинность | Authenticity	Окрашивание в фиолетовый цвет | Purplecolor
Прозрачность | Transparency	Прозрачный | Transparent
Цветность | Chromaticity	0,1%-ый раствор коллагена в воде бесцветен 0.1% collagen solution in water is colorless
pH	5,5–6,0
Массовая доля сухих веществ | Mass fraction of dry matter	1,76
Массовая доля коллагена | Mass fraction of collagen	0,92

При проведении гистоморфологических исследований готовили ультратонкие поперечные срезы шкур рыб с последующим окрашиванием и микроскопированием объектов. Как видно на рис. 1, рыбные шкуры в дермальном слое обнаруживали рыхлые структуры соединительнотканных волокон и меньшую толщину по сравнению со спилком шкур животных (КРС), что объективно связано с видовой принадлежностью объектов исследования.

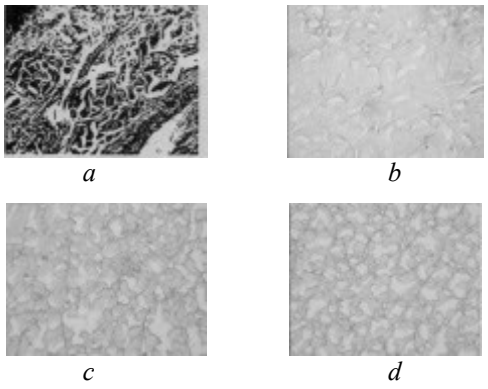


Рисунок 1. Микроструктура дермальных слоев шкур в поперечном срезе. Увеличение ×200. Окраска по Гольджи. Спилок шкуры: *a* – КРС; *b* – щуки; *c* – сазана; *d* – толстолобика [5]

Figure1.The microstructure of the dermal layers of the skins in cross-section.Magnification ×200. Staining Golgi. Split skin: *a* – cattle; *b* – pike; *c* – pike; *d* – carp [5]

При микрокопировании нативных образцов шкур сазана, щуки и толстолобика без применения красителя выявили плотную архитектонику дермальной части кожи щуки.

В случае препаратов шкур рыб толстолобика значительную часть занимают межструктурные пространства, что характеризует рыхлость ткани.

В отличие от известных до этого времени гидролизатов, получаемых из коллагенов высокорядных, волоконных (обычно из рогатого скота), нативный, выделенный непосредственно из ткани донора, тропоколлаген (то есть коллаген молекулярный) сохраняет трехспиральную структуру, присущую лишь белкам в живом организме, и, следовательно, сохраняет биологическую активность [6].

Коллаген в пищевой промышленности

На сегодняшний день мало теоретических исследований, современных технических решений в области глубокой переработки значительных объемов накапливаемого побочного и малоценного сырья рыбного происхождения. Отсутствует отечественное производство. Не изучены возможности для комбинирования с пищевыми источниками растительного и животного происхождения [7].

Продукты, полученные из источников рыбного происхождения, имеют ряд преимуществ:

– прозрачность, эластичность, при снятии с подложки не рвется;

– безопасность (отсутствие губчатой энцефалопатии (болезнь бешенства крупного рогатого скота), значительно снизившей объемы производства коллагенов животного происхождения);

– лучшая восприимчивость органами и тканями человека в сравнении с животными коллагенами (коллаген рыбного происхождения максимально подобен человеческому);

– гиппоаллергенность;

– возможность получения функциональных белков (коллагенов) в виде гидратов, позволяющих сохранять биологическую активность вне живого организма.

Биополимерные пленочные покрытия в качестве упаковочных материалов придают функциональность (пищевая добавка), увеличивают сроки хранения и повышают качество пищевых продуктов [8].

Коллагеновые материалы в косметологии

Коллаген и его гидролизаты часто входят в рецептуры разнообразных кремов и эликсиров, пленочных покрытий как влагоудерживающие и питательные компоненты.

Для подтверждения эффективности данных средств была проведена апробация. Испытания были проведены в форме открытого исследования в группе здоровых добровольцев с нормальной здоровой кожей. Под наблюдением находилось 30 добровольцев (женщины) европеоидной расы в возрасте от 20 до 48 лет [9].

По результатам исследования, увлажненность кожи головы после использования данного средства уменьшилась на 9%.

Анализируя данные, полученные в результате исследования шампуня с коллагеновым гелем, следует отметить, что данное средство положительно влияет на увлажненность кожи головы, остальные показатели остаются практически неизменными [9].

В результате использования крема с глицерином уровень увлажненности кожи увеличился на 20%. В то же время, несколько увеличился уровень покраснения кожных покровов, тогда как степень шелушения осталась неизменной. Согласно субъективным оценкам респондентов упругость и увлажненность кожи несколько увеличилась, а степень выраженности морщин – снизилась.

Согласно данным аппаратных исследований показатели увлажненности кожи увеличились на 41%, тогда как степень покраснения кожных покровов и степень шелушения несколько снизилась. Что касается субъективных оценок, то состояние кожи после использования крема с коллагеновым гелем несколько улучшилось – упругость и увлажненность кожи увеличилась, а степень выраженности морщин значительно снизилась.

Также в качестве косметических средств предлагается пленочное покрытие. Эффективность таких материалов объясняется тем, что гигроскопическая коллагеновая пленка действует наподобие влажного компресса [10], а значит снижается трансэпидермальная потеря воды кожей. Благодаря гигроскопическим свойствам коллагена повышается влажность

рогового слоя кожи, что дает основания считать косметический крем или эликсир с коллагеном надежным защитным средством, а следовательно, геронтопротектором [10].

Коллагеновые материалы в медицине

Коллаген рыбного происхождения особое значение имеет в хирургии, дерматологии, а также в качестве ранозаживляющего средства для местного лечения.

Одной из перспективных форм таких продуктов являются полимерные материалы природного происхождения – пленки, которые хорошо приспособлены для вышеобозначенных целей.

Коллаген выполняет формообразующую основу покрытия, он не вызывает аллергических реакций, не оказывает раздражающего действия и абсолютно безвреден для организма, что доказано в опытах *in vitro* на животных и биотестах [11].

На базе Воронежского государственного аграрного университета и Воронежского государственного медицинского института проведены токсикологические и гистологические опыты на теплокровных животных (рисунок 2).



a *b*

Рисунок 2. Эффект ранозаживления от использования пористых материалов на основе коллагена: *a* – результат до применения пористых материалов; *b* – результат после применения пористых материалов

Figure 2.Wound healing effect from the use of porous materials based on collagen: *a* – result before the use of porous materials; *b* – result after application of porous materials

Основной механизм влияния коллагена – в осуществлении репаративной функции соединительной ткани.

Введение в состав препаратов коллагена способствует продлению действия лекарственных средств, поскольку данная основа обладает высокой осмотической активностью, обеспечивающей дегидратирующее действие на ткани в очаге воспаления. Такие препараты могут использоваться в качестве эффективного раневого покрытия [7].

Салфетки на основе коллагена, пропитанные антибиотиками, обладают хорошей совместимостью с кожными тканями благодаря низкой аллергенности и биодеструкции коллагена. Например, лучшие результаты хирургического лечения были получены при апробации в Республике Адыгея, г. Майкоп на базе Адыгейской республиканской клинической больницы. В ходе исследований наблюдались 10 пациентов с разными диагнозами, такие, как: острый парапроктит, острый остеомиелит, послеоперационные рубцы, ожоги и трофические язвы др.

При наложении салфетки на основе коллагена в качестве повязки пациентам с острым парапроктитом наблюдалось удовлетворительное состояние пациента, без побочных терапевтических эффектов, отсутствие некроза, образование грануляционной ткани, с положительными результатами ранозаживления (рисунок 3).



a *b*

Рисунок 3. Динамика лечения с применением салфеток на основе коллагена (3 дня): *a* – результат до применения коллагена; *b* – результат после применения коллагена

Figure3.Dynamics of treatment with collagen-based wipes (3 days): *a* – to the result before the collagen; *b* – the result after the application of collagen

Салфетки на основе коллагена были нанесены на раны острого остеомиелита, возникшего после ампутации ступни нижней конечности (рисунок 4). Результаты имеют положительный характер. У пациента наблюдалась удовлетворительная динамика, без побочных терапевтических эффектов, с образованием грануляционной ткани.



a *b*

Рисунок 4. Динамика лечения с применением салфеток на основе коллагена (25-й день): *a* – результат до применения коллагена; *b* – результат после применения коллагена

Figure4.Dynamics of treatment with collagen-based wipes (25 days): *a* – to the result before the collagen; *b* – the result after the application of collagen

Для лечения послеоперационных рубцов применяли пленочное покрытие на основе коллагена. У пациента наблюдалась положительная динамика, без побочных эффектов, удовлетворительный результат ранозаживления наблюдался на 5-е сутки. Наложение пленки представлено на рисунке 5.

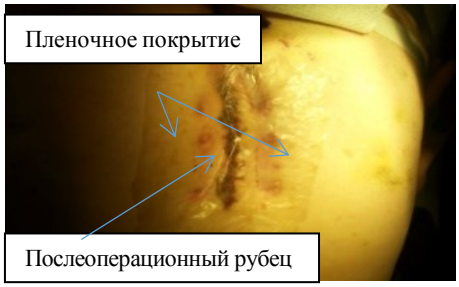


Рисунок5. Применение коллагеновой пленки
Figure5.Application of collagen film

Предлагаемое покрытие позволяет хорошо и быстро лечить раны, ожоги, язвы, может использоваться при лечении кровоточащих травматических повреждений, плоских гранулирующих вялотекущих ран в стадии регенерации, трофических язв, пролежней, при заживлении донорских участков. Пленка ранозаживляющего средства обладает стабилизирующими свойствами и надежно сохраняется в течение достаточно долгого времени.

Представлены результаты заживления на 6-е сутки с применением материалов на основе коллагена рыбного происхождения (таблица 3).

Таблица 3.

Результаты заживления на 6-е сутки

Table 3.

The results of wound healing on day 6

Пациент	Площадь раны (см)	Заживление на 1 сутки	Заживление на 2 сутки	Заживление на 3 сутки	Заживление на 4 сутки	Заживление на 5 сутки	Заживление на 6 сутки
№1 (хронический остеомиелит)	5×3×3	5×3×3	4,5×2,5×3	4,5×2,5×2,5	4×2×2,5	4×2×2	2,5×1×1
№2 (острый парапрактит)	9×5×5	9×5×5	8,5×4,5×4,5	8,5×4×4	8×4×4	7,5×3×3	6,5×2,5×2,5
№3 (острый парапрактит)	7×4×4	7×3,5×4	7×3×3,5	6,5×3×3,5	6,5×3×3	6×3×3	6×2,5×2,5
№4 (ЭКХ без абсцедирования)	13	Заживление швов с покраснением	Заживление швов с покраснением	Заживление без покраснением			Полное заживление

Выводы

Новые экологически чистые источники для производства коллагена – актуальная научно-техническая задача современности, поскольку он популярен и зарекомендовал себя в биомедицинских технологиях, составе специализированного питания для реабилитации и в постоперационные и посттравматические периоды. Чрезвычайную востребованность он имеет в косметологии при производстве косметических средств различной функциональности: в составе шампуней, кремов и т.п. для восстановления и улучшения структуры волос, увеличения их объема, омоложения кожи.

Исследование свойств и характеристика уникальных биополимеров коллагеновой природы позволит управлять технологиями в производстве пищевых, косметических и медицинских продуктов и препаратов, увеличить сегмент и стабилизировать положение России на международном рынке, расширить ассортимент и области применения продуктов разделки рыбы.

Таким образом, можно утверждать, что получение коллагена из побочного рыбного сырья отвечает принципам рационального природопользования и является экономически выгодным. Его применение конкурентоспособно и перспективно как в оригинальном виде, так и для производства пищевых продуктов, медицинских препаратов и косметических средств на внутреннем и мировом рынках.

ЛИТЕРАТУРА

1 Shoulders M.D., Raines R.T. Collagen structure and stability // The Annual Review of Biochemistry. 2009. № 78. P. 929–958. doi: 10.1146/annurev.biochem.77.032207.120833.

2 Антипова Л.В., Сторублевцев С.А., Болгова С.Б., Сухов И.В. Получение, идентификация и сравнительный анализ рыбных коллагенов с аналогами животного происхождения // Фундаментальные исследования. 2015. № 8–1. С. 9–13.

3 Антипова Л.В., Глотова И.А., Рогов И.А. Методы исследования мяса и мясопродуктов: учебное пособие. М.: Колос, 2004. 571с.

4 Батечко С.А., Ледзевиров–Колечково А.М. Коллаген. Новая стратегия сохранения здоровья и продления молодости. 2010. 244 с.

5 Антипова Л.В., Сторублевцев С.А., Бобрешова М.В. Шкуры рыб – как объект для получения коллагеновых субстанций // Научные труды Университета пищевых технологий. Пловдив: 2012. С. 976–978.

6 Антипова Л.В., Сторублевцев С.А. Коллагены: источники, свойства, применение. Воронеж: ВГУИТ, 2014. 512 с.

7 Пат. 2139937, RU, C14C 13/00, C14C 1/08, C08H 1/06. Способ обработки коллагеносодержащего сырья / Титов А.О., Титов О.П., Хантургаева В.Г., Кожевникова Н.М. и др. № 98122080/12; Заявл. 98122080; Опубл. 20.10.1999.

8 Новикова И.С., Сторублевцев С.А. Применение коллагена в медицинских целях // Успехи современного естествознания. 2012. № 6. С. 136–136.

9 Болгова С.Б., Антипова Л.В. Идентификация Литература коллагенов на основании электронно-макроскопического анализа // Международный студенческий научный вестник. 2015. № 3–2. URL: http://eduherald.ru/ru/article/view?id=12446

10 Сторублевцев С.А., Антипова Л.В., Попов В.И., Стукало О.Г. и др. Оценка бактериостатического эффекта иммобилизованных на коллагеновом носителе антибиотиков и ионов серебра в обеспечении асептики // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94. № 9. С. 54–56.

11 Антипова Л.В., Сторублевцев С.А. Сравнительные свойства коллагеновых белков рыбного и животного происхождения // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2016. № 4. С. 37–38.

REFERENCES

1 Shoulders M.D., Raines R.T. Collagen structure and stability. The Annual Review of Biochemistry. 2009. no. 78. pp. 929–958. doi: 10.1146/annurev. biochem.77.032207.120833.

2 Antipova L.V., Storublevtsev S.A., Bolgova S.B., Sukhov I.V. Obtaining, identification and comparative analysis of fish collagens with analogues of animal origin. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research]. 2015. no. 8–1. pp. 9–13. (in Russian).

3 Antipova L.V., Glotova I.A., Rogov I.A. Metody issledovaniya myasa i myasoproduktov: uchebnoe posobie [Methods of research of meat and meat products: a textbook]. Moscow, Kolos, 2004. 571 p. (in Russian).

4 Batechko S.A., Ledzevirov–Kolechkovo A.M. Kollagen. Novaya strategiya sohraneniya zdorov'ya i prodleniya molodosti [Collagen. A new strategy for preserving health and prolonging youth]. 2010. 244 p. (in Russian).

5 Antipova L.V., Storublevtsev S.A., Bobresova M.V. Skins of fish – as an object for obtaining collagen substances. Nauchnye trudy Universiteta pishchevyh tekhnologij [Scientific laborer University for the preservation of technology]. Plovdiv, 2012. pp. 976–978. (in Russian).

6 Antipova L.V., Storublevtsev S.A. Kollageny: istochniki, svojstva, primenenie [Collagens: sources, properties, application]. Voronezh, VSUET, 2014. 512 p. (in Russian).

7 Titov A.O., Titov O.P., Khanturgaeva V.G., Kozhevnikova N.M. et al. Sposob obrabotki kollagenosoderzhashchego syr'ya [The method of processing collagen-containing raw materials]. Patent RF, no. 2139937, 1999.

8 Novikova IS, Storublevtsev S.A. Application of collagen for medical purposes. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural science]. 2012. no. 6. pp. 136–136. (in Russian).

9 Bolgova S.B., Antipova L.V. Identification of collagens on the basis of electron-macroscopic analysis. *Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik* [International Student Scientific Bulletin]. 2015. no. 3–2. Available at: http://eduherald.ru/en/article/view?id=12446 (in Russian).

10 Storublevcev S.A., Antipova L.V., Popov V.I., Stukalo O.G. et al. Evaluation of the bacteriostatic effect of antibiotics and silver ions immobilized on a collagen carrier in providing aseptic. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation]. 2015. vol. 94. no. 9. pp. 54–56. (in Russian).

11 Antipova L.V., Storublevtsev S.A. Comparative properties of collagen proteins of fish and animal origin. *Vestnik VGU. Seriya: Himiya. Biologiya. Farmaciy.* [Vestnik VSU. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy]. 2016. no. 4. pp. 37–38. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Людмила В. Антипова д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, antipova.l54@yandex.ru

Станислав А. Сторублевцев к.т.н., доцент, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, c11111983@yandex.ru

Марина А. Пискова аспирант, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр. Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, mari-mari-mari.ya@yandex.ru

Юрий З. Химишев врач-хирург, Адыгейская Республиканская Клиническая Больница, ул. Жуковского,4, г. Майкоп, Республика Адыгея, 385000, Россия, himish92@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Людмила В. Антипова консультация в ходе исследования
Станислав А. Сторублевцев обзор литературных источников по исследуемой проблеме
Марина А. Пискова провела эксперименты, выполнила расчеты
Юрий З. Химишев провел эксперименты, выполнил расчеты

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 27.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 20.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Lyudmila V. Antipova Dr. Sci. (Engin.), chief researcher, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, antipova.l54@yandex.ru

Stanislav A. Storublevtsev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, c11111983@yandex.ru

Marina A. Piskova graduate student, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, mari-mari-mari.ya@yandex.ru

Yuriy Z. Himishev surgeon, Adyghe Republican Clinical Hospital, Zhukovsky Street, 4, Maikop, Adyghe Republican 385000, Russia, himish92@mail.ru

CONTRIBUTION

Lyudmila V. Antipova consultation during the study
Stanislav A. Storublevtsev review of the literature on an investigated problem
Marina A. Piskova conducted an experiment, performed computations
Yuriy Z. Himishev conducted an experiment, performed computations

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 1.27.2018

ACCEPTED 11.20.2018

Обзорная статья/Review article

УДК 663.47

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-145-150

Обзор: дрожжи рода *Brettanomyces* в технологии пива

Инна В. Новикова [1] noviv@list.ru
Илья А. Юрицын [1] kafedra_tbisp@mail.ru
Александр С. Муравьев [1] hntrun@mail.ru

[1] Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Сегодня все более популярными в пищевой промышленности становится применение нестандартных видов дрожжей, к которым относят *Brettanomyces*. Они толерантны к низкому pH, обладают высокоэффективным метаболизмом, а их способность к жизнедеятельности в условиях высокой концентрации этанола нашла применение в производстве биоэтанола. Наиболее известными направлениеми применения *Brettanomyces* являются спонтанно сбраживаемые стили пива: ламбик и гёз. Такое пиво характеризуется длительным временем брожения (до нескольких лет) и богатым, сложным вкусом со специфическими тонами, ассоциирующимися с богатой бактериальной и грибковой микрофлорой. Летучие фенольные соединения в таком пиве, отвечающие за основные ароматические профили, связанны с *Brettanomyces*: 4-этилгваякол, 4-этилфенол, 4-этилкатехол и их прекурсоры 4-винилгваякол, 4-винилфенол и 4-винилкатехол. Доля эфира в пиве ламбик, как правило, характеризуется низким содержанием изоамилацетата, высокой концентрацией этилкаприлата и этиллактата и значительным количеством этилкапрата.

Ключевые слова: Brettanomyces, ламбик, гёз, пивоварение, фенольные соединения

Review: *Brettanomyces* yeasts in beer technology

Inna V. Novikova [1] noviv@list.ru
Ilya A.Yuritsyn [1] kafedra_tbisp@mail.ru
Aleksandr S. Muravev [1] hntrun@mail.ru

[1] Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract.Today, the use of non-standard types of yeast, which include *Brettanomyces*, is becoming increasingly popular in the food industry. They are tolerant to low pH, have a high-effective metabolism, and their ability to function in high concentrations of ethanol found application in the production of bioethanol. The most famous application of *Brettanomyces* is spontaneously fermented beer styles: lambic and gueuze. This beer is characterized by a long fermentation time (up to several years) and a rich, complex flavor with specific tones associated with a rich bacterial and fungal microflora. Volatile phenolic compounds in this beer, responsible for the main aromatic profiles associated with *Brettanomyces*: 4-ethylguaiacol, 4-ethylphenol, 4-ethylcatechol and their precursors 4-vinylguaiacol, 4-vinylphenol and 4-vinylcatechol. The proportion of ether in lambic beer is generally characterized by a low content of isoamyl acetate, a high concentration of ethylcaprylate and ethyl acetate and a significant amount of ethyl caprate.

Keywords:Brettanomyces, lambic, gueuze, brewing, phenolic compounds

Введение

В пивоварении, как и в других отраслях бродильной промышленности, сегодня зачастую применяются исключительно чистые культуры дрожжей, такие, как *Saccharomyces cerevisiae*. Однако использование одного штамма для эффективной и высококачественной ферментации, может оказаться затруднительным, так как существует определенная вероятность заражения дикими дрожжами и бактериальной микрофлорой. Они могут создать особый профиль брожения и вкуса, а это влечет за собой сложности по устранению нежелательных ароматических нот в продукте [1, 2]. Поэтому сегодня все более популярным в промышленности становится применение прочих видов дрожжей [3–6]. В то время как многие из этих видов дрожжей рассматриваются в качестве микроорганизмов-вредителей производства, некоторые из них могут играть важную роль, увеличивая эффективность брожения, снижая риск порчи или изменяя вкусовой профиль напитка [7]. Одним из таких видов дрожжей является *Brettanomyces*. Эти дрожжи были впервые описаны в 1904 году Нильсом Хьельте Клауссеном (пивоварня Carlsberg). Он выделил их из пива при вторичном брожении и установил, что они ответственны за развитие характерных вкусов английских элей [8]. Однако сегодня роль *Brettanomyces* в пищевой промышленности неоднозначна. Например, с одной стороны, они считаются одними из наиболее вредных микроорганизмов порчи вина [9], а с другой – их присутствие необходимо в элях спонтанного брожения [10]. Тем не менее, потенциал *Brettanomyces* как дрожжей в промышленных процессах брожения признается все больше. Они толерантны к низкому pH, обладают

Для цитирования
Новикова И.В., Юрицын И.А., Муравьев А.С. Обзор: дрожжи рода *Brettanomyces* в технологии пива // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 145–150. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-145-150

For citation
Novikova I.V., Juricyn I.A., Muravev A.S. Review: *Brettanomyces* yeasts in beer technology. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 145–150. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-145-150

высокоэффективным метаболизмом, а их способность к жизнедеятельности в условиях высокой концентрации этанола нашло применение в производстве биоэтанола [11].

Brettanomyces в пищевой промышленности

Наиболее известные случаи образования *Brettanomyces* в промышленности – в процессах спонтанного алкогольного брожения, безалкогольных напитках, молочных продуктах, закваске и при производстве оливок [12, 13]. Эти области производства характеризуются различными сочетаниями производственных стрессов: высокими концентрациями этанола, низким pH, отсутствием легкоферментируемых источников азота и углерода, низким содержанием кислорода и др.

Однако, как упоминалось ранее, отношение к *Brettanomyces* часто неоднозначно. В некоторых производствах, таких, как бельгийский стиль пива ламбик (lambic) или американский эль кулшип (coolship), присутствие *Brettanomyces* является необходимым для ароматики напитка, тогда как эти же профили аромата в вине категорически недопустимы [9, 14]. Кроме того, отмечают частое непреднамеренное присутствие *Brettanomyces* на заводах по производству биоэтанола, при этом некоторые из этих штаммов могут превосходить по эффективности производственные [15, 16].

Характеристика дрожжей *Brettanomyces*

В современной классификации дрожжи рода *Brettanomyces* (семейство *Saccharomycetaceae*) неспорообразующие. *Brettanomyces* способны сбраживать широкий спектр источников углерода, но с различной скоростью. Например, установлено, что *Brettanomyces* способны к сбраживанию мальтозы и фруктозы, хотя и с меньшей скоростью по сравнению с глюкозой [17, 18]. Сбраживание сахарозы также может говорить о высокой конкурентоспособности этих дрожжей [19, 20]. Интересна различная способность сбраживать галактозу [21].

Brettanomyces в отличие от *Saccharomyces* способны сбраживать сложные сахара, такие, как целлобиоза и декстрины. Целлобиоза – дисахарид, который формируется неполным гидролизом целлюлозы и содержится в древесине (например, в бочках, используемых для выдержки вина или пива) [16, 22]. Декстрины, такие, как мальтотреоза и мальтопентоза, присутствуют в качестве остаточного сахара после главного брожения пива. *Brettanomyces* производит фермент α-глюкозидазу, позволяя гидролизовать сложные сахара в глюкозу [14, 23]. При этом возможно получить пиво с чуть более высокими уровнями этанола и сниженными концентрациями остаточного сахара (меньшим содержанием калорий).

Большинство штаммов *Brettanomyces* обладает высокой устойчивостью к этанолу, что имеет решающее значение для выживания в среде брожения. Однако в целом *Brettanomyces* несколько более чувствителен по сравнению с большинством штаммов *S. cerevisiae* [24]. Исследования показывают, что содержание этанола 14,5–15,0% об. в винах – верхний предел роста для *Brettanomyces*. Однако эта граница зависит от штамма и от факторов окружающей среды, таких, как pH и концентрация свободного сульфита [25]. Важно отметить, что различные концентрации этанола влияют на вкусовые профили *Brettanomyces* с положительной корреляцией между величиной концентрации этанола и выходом этиловых эфиров, фенилового этанола и 4-этилгваякола [26].

Brettanomyces в пивоварении

В то время как подавляющее большинство стилей пива сбраживается чистыми культурами дрожжей *S. cerevisiae* (эль) или *S. pastorianus* (лагер), существует несколько видов специального пива спонтанного брожения [27–29]. Наиболее известными спонтанно сбраживаемыми стилями пива являются ламбик и гёз (gueuze), исторически произведенное в окрестностях Брюсселя (Бельгия).

Пиво в стиле ламбик характеризуется длительным временем брожения (которое может достигать несколько лет) и богатым, сложным вкусом со специфическими тонами, ассоциирующимися с богатой бактериальной и грибковой микрофлорой. Микробиом при таком брожении сложен – несколько видов дрожжей и бактерий, сосуществующих и меняющихся со временем [29]. Состав среды пива ламбик был впервые подробно описан в 1977 году [30]. Сегодня, используя современные методы исследования: секвенирование [27], денатурирующий градиентный гель-электрофорез (ДДГЭ) [7], масс-спектрометрирование [1], установлено, что микробная популяция состоит в основном из дрожжей и бактерий (лактобактерии и педиококки) [31–33]. В то время как большая часть спиртового брожения такого пива осуществляется дрожжами *S. cerevisiae* в более

поздних стадиях, когда олигосахариды (мальтозы и мальтотриозы) исчерпаны, дрожжи *S. cerevisiae* постепенно прекращают процесс сбраживания, тогда как *Brettanomyces* действуют еще 4–8 месяцев [27, 30]. Это наиболее распространенный род дрожжей, который остается до конца брожения. В течение этого этапа «тихого брожения» наблюдается метаболическая активность эстеразы, ß-глюкозидазы, α-глюкозидазы, а также обмена веществ с бактериями, что и является причинами кардинальных изменений в сенсорном профиле напитка и получении неповторимого вкуса [34].

Летучие компоненты *Brettanomyces*

Brettanomyces, как указывалось ранее, может сильно влиять на аромат продуктов брожения. Существуют различные термины для описания ароматики *Brettanomyces*, в том числе гвоздичный, пряный, мышиный, скотного двора, дымчатый, пластиковый, фенольный, медицинский, бинтов, металлический, печенья, яблочный, цветочный, тропических фруктов, цитрусовый и/или пряный [35, 36], но их более удобно объединить в термин «ароматика *Brettanomyces*».

Летучие фенольные соединения отвечают за основные ароматические профили, связанные с *Brettanomyces* [21, 37, 38]. Существует шесть соединений, отвечающих за фенольную ароматику: 4-этилгваякол, 4-этилфенол, 4-этилкатехол и их прекурсоры: 4-винилгваякол, 4-винилфенол и 4-винилкатехол.

Известно, что 4-этилгваякол, 4-этилфенол способствуют нежелательному аромату в зараженных винах [39] (лекарственный, бинтов), однако при этом они же являются необходимыми в создании ароматики (гвоздичный или пряный аромат) пива ламбик, американского эля кулшипи, различных бельгийских кислых элей, что связано с различной концентрацией и соотношением этих компонентов в напитке [40–42].

Эфиры образуют важную группу ароматических соединений, в виду того что они ответственны за фруктовые и цветочные ноты напитков [43]. Доля эфира в пиве ламбик, как правило, характеризуется низким содержанием изоамилацетата, высокой концентрацией этилкаприлата и этиллактата и значительным количеством этилового капрата в сравнении с пивом, произведенным с использованием традиционных дрожжей *S. cerevisiae* и *S. pastorianus* [5]. Исследования подтвердили, что эстеразы, присутствующие в *Brettanomyces*, отвечают за образование этиловых эфиров, таких, как этилацетат и этиловый лактат, наряду с гидролизом ацетатных эфиров, например, изоамилацетата и фенилацетата [30, 44]. Разница между концентрацией ацетата и этилового эфира связана с гидролизом уксусных эфиров эстеразой *Brettanomyces*.

Пропагация *Brettanomyces*

Разведение стартовой культуры *Brettanomyces* можно проводить с использованием аналогичных методов размножения элевых дрожжей, но каждый этап роста занимает больше времени. Предлагается разведение культуры сначала до 50 $см^3$, затем до 150 $см^3$ при подготовке 20 $дм^3$ объема и далее по объему пропагатора. Можно применять неохмеленное сусло (средняя плотность 9–12%) с добавлением питательных веществ. В среднем процесс длится от семи до восьми дней при 28 °С и непрерывной аэрации для достижения максимального выхода клеток *Brettanomyces* [45].

Если стоит цель получить пиво с нотами уксусной кислоты, можно использовать весь объем стартера. Чтобы уменьшить количество уксусной кислоты в готовом пиве, необходимо после нескольких дней декантировать стартер, прежде чем задавать его в пиво. Внесение и распределение *Brettanomyces* в слое пива займет больше времени, чем для большинства дрожжей, потому что клетки *Brettanomyces* имеют меньший размер и не обладают высокой флокуляцией. Чтобы компенсировать более медленный темп роста, рекомендуется задавать *Brettanomyces* в количестве(по объему на сусло), которое обычно применяется для лагеров, что примерно в два раза больше стандартной задачи для элей.

Заключение

В последние десятилетия интерес к использованию нетрадиционных видов дрожжей для процессов брожения несколько ограничен. Однако информация, обобщенная в этом обзоре, подчеркивает потенциал *Brettanomyces* для промышленного использования. Так, *Brettanomyces* часто превосходят *S. cerevisiae* по применению в специфических условиях – низкое содержание азотного питания, низкий pH и высокий уровень этанола, а в условиях ограниченного содержания углеводов и кислорода часто показывают более эффективный рост, чем *S. cerevisiae.* Широкое применение *Brettanomyces* нашли в спонтанносбраживаемых напитках, таких, как пиво ламбик, где они необходимы для получения типичного ароматического профиля.

ЛИТЕРАТУРА

1 Steensels J., Snoek T., Meersman E., Picca Nicolino M. et al. Improving industrial yeast strains: Exploiting natural and artificial diversity // FEMS microbiology reviews. 2014. V. 38. № 5. P. 947–995.

2 Steensels J., Meersman E., Snoek T., Saels V. et al. Large-scale selection and breeding to generate industrial yeasts with superior aroma production // Applied and Environmental Microbiology. 2014. V. 80. № 22. P. 6965–6975.

3 Manzanares P., Valles S., Viana F. Non-Saccharomyces Yeasts in the Winemaking Process. // Molecular Wine Microbiology. Elsevier, 2011. С. 85–110.

4 Wang C., Liu Y. Dynamic study of yeast species and Saccharomyces cerevisiae strains during the spontaneous fermentations of Muscat blanc in Jingyang, China // Food microbiology. 2013. V. 33. № 2. P. 172–177.

5 Gonzalez R., Quiros M., Morales P. Yeast respiration of sugars by non-Saccharomyces yeast species: A promising and barely explored approach to lowering alcohol content of wines // Trends in Food Science & Technology. 2013. V. 29. № 1. P. 55–61.

6 Данина М.М., Иванченко О.Б. Использование дрожжей р. *Brettanomyces* в технологии пива // Вестник MAX. 2015. № 4. С. 27-31.

7 Steensels J., Verstrepen K.J. Taming wild yeast: Potential of conventional and nonconventional yeasts in industrial fermentations // Annual review of microbiology. 2014. V. 68. P. 61–80.

8 Licker J., Acree T., Henick-Kling T. What Is "Brett" (*Brettanomyces*) Flavor?: A Preliminary Investigation // ACS Symposium Series. 1998. P. 714.

9 Wedral D., Shewfelt R., Frank J. The challenge of *Brettanomyces* in wine // LWT – Food Science and Technology. 2010. V. 43. № 10. P. 1474–1479.

10 Steensels J., Daenen L., Malcorps P., Derdelinckx G. et al. *Brettanomyces* yeasts – From spoilage organisms to valuable contributors to industrial fermentations // International journal of food microbiology. 2015. V. 206. P. 24–38.

11 Passoth V., Blomqvist J., Schnürer J. *Dekkera bruxellensis* and *Lactobacillus* vini form a stable ethanol-producing consortium in a commercial alcohol production process // Applied and Environmental Microbiology. 2007. V. 73. № 13. P. 4354–4356.

12 Джафаров М.М. Штаммы *Brettanomyces intermedius*, выделенные из спонтанных кисломолочных продуктов // Молочная промышленность. 2012. № 6. С. 58–59.

13 Пономарева О.И., Иванова В.А., Прохорчик И.П., Меледина Т.В. Дрожжи рода *Brettanomyces*. Характеристики и особенности метаболизма // Пиво и напитки. 2017. № 1. С. 38–42.

14 Shantha Kumara H.M.S., Verachtert H. Identification of lambic super attenuating microorganisms by the use of selective antibiotics // Journal of the Institute of Brewing. 1991. V. 97. P. 181–185.

15 Blomqvist J., Nogue V.S., Gorwa-Grauslund M., Passoth V. Physiological requirements for growth and competitiveness of *Dekkera bruxellensis* under oxygen-limited or anaerobic conditions // Yeast. 2012. V. 29. № 7. P. 265–274.

16 Reis A.L., Rodrigues de Souza R.F., Baptista Torres R.R., Leite F.C. et al. Oxygen-limited cellobiose fermentation and the characterization of the cellobiase of an industrial *Dekkera/Brettanomyces bruxellensis* strain // Springer Plus. 2014. V. 3. № 1. P. 38.

17 Blomqvist J., Eberhard T., Schnurer J., Passoth V. Fermentation characteristics of *Dekkera bruxellensis* strains // Applied microbiology and biotechnology. 2010. V. 87. № 4. P. 1487–1497.

18 Leite F. C. B., Basso T. O., Pita W. d. B., Gombert A. K. et al. Quantitative aerobic physiology of the yeast *Dekkera bruxellensis,* a major contaminant in bioethanol production plants // FEMS yeast research. 2013. V. 13. № 1. P. 34–43.

19 de Barros Pita W., Leite F.C.B., Souza Liberal A.T. de, Simoes D.A. et al. The ability to use nitrate confers advantage to *Dekkera bruxellensis* over *S. cerevisiae* and can explain its adaptation to industrial fermentation processes // Antonie van Leeuwenhoek. 2011. V. 100. № 1. P. 99–107.

20 Tiukova I.A., Petterson M.E., Tellgren-Roth C., Bunikis I. et al. Transcriptome of the Alternative Ethanol Production Strain *Dekkera bruxellensis* CBS 11270 in Sugar Limited, Low Oxygen Cultivation // PloS one. 2013. V. 8. № 3. P. e58455.

21 Crauwels S., Steensels J., Aerts G., Willems, K.A. et al. *Brettanomyces Bruxellensis*, Essential Contributor in Spontaneous Beer Fermentations Providing Novel Opportunities for the Brewing Industry // Brewing Science. 2015. V. 68. P. 110–121.

22 Gonde P., Blondin B., Leclerc M., Ratomahenina R. et al. Fermentation of cellodextrins by different yeast strains // Applied and Environmental Microbiology. 1984. V. 48. № 2. P. 265–269.

23 Kumara H.M., de Cort S., Verachtert H. Localization and Characterization of alpha-Glucosidase Activity in *Brettanomyces lambicus* // Applied and Environmental Microbiology. 1993. V. 59. № 8. P. 2352–2358.

24 Costa A., Barata A., Malfeito-Ferreira M., Loureiro V. Evaluation of the inhibitory effect of dimethyl dicarbonate (DMDC) against wine microorganisms // Food microbiology. 2008. V. 25. № 2. P. 422–427.

25 Sturm M.E., Arroyo-Lopez F.N., Garrido-Fernández A., Querol A. et al. Probabilistic model for the spoilage wine yeast *Dekkera bruxellensis* as a function of pH, ethanol and free SO_2 using time as a dummy variable // International journal of food microbiology. 2014. V. 170. P. 83–90.

26 Conterno L., Aprea E., Franceschi P., Viola R. et al. Overview of *Dekkera bruxellensis* behaviour in an ethanol-rich environment using untargeted and targeted metabolomic approaches // Food Research International. 2013. V. 51. № 2. P. 670–678.

27 Bokulich N.A., Bamforth C.W., Mills D.A. Brewhouse-resident microbiota are responsible for multi-stage fermentation of American cool ship ale // PloS one. 2012. V. 7. № 4. P. e35507.

28 Martens H., Iserentant D., Verachtert H. Microbiological aspects of a mixed yeast-bacterial fermentation in the production of a special Belgian acidic ale // Journal of the Institute of Brewing. 1997. V. 103. № 2. P. 85–91.

29 Spitaels F., Wieme A.D., Janssens M., Aerts M. et al. The microbial diversity of traditional spontaneously fermented lambic beer // PloS one. 2014. V. 9. № 4. P. e95384.

30 van Oevelen D., Spaepen M., Timmermans P., Verachtert H. Microbiological aspects of spontaneous wort fermentation in the production of lambic and gueuze // Journal of the Institute of Brewing. 1977. V. 83. P. 356–360.

31 Вавилова О.И. Экспресс-метод обнаружения и идентификации дрожжей *Brettanomyces* в пробах воздуха, отобранных в производственных цехах винного завода, на основе пептидонуклеинового анализа // Экологическая безопасность в АПК. Реферативный журнал. 2005. № 3. С. 810.

32 Загоруйко В.А. и др. Идентификация дрожжей вида *Brettanomyces bruxellensis*с помощью специфических праймеров // Виноградарство и виноделие. 2009. № 39. С. 57–60.

33 Кузьмина Т.Д. Изучение микрофлоры дестабилизированных белых вин. // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. 1999. № 1. С. 151.

34 Verachtert H., Debourg A. Properties of belgian acid beers and their microflora: I. The production of gueuze and related refreshing acid beers. P. 37–41.

35 Curtin C.D., Langhans G., Henschke P.A., Grbin P.R. Impact of Australian *Dekkera bruxellensis* strains grown under oxygen-limited conditions on model wine composition and aroma // Food microbiology. 2013. V. 36. № 2. P. 241–247.

36 Buron N., Coton M., Legendre P., Ledauphin J. et al. Implications of Lactobacillus collinoides and *Brettanomyces /Dekkera anomala* in phenolic off-flavour defects of ciders // International journal of food microbiology. 2012. V. 153. № 1-2. P. 159–165.

37 Chatonnet P., Dubourdie D., Boidron J., Pons M. The origin of ethyl phenols in wines // Journal of the science of food and agriculture. 1992. V. 60. № 2. P. 165–178.

38 Edlin D.A.N., Narbad A., Gasson M.J., Dickinson J.R. et al. Purification and characterization of hydroxycinnamate decarboxylase from *Brettanomyces anomalus* // Enzyme and Microbial Technology. 1998. V. 22. № 4. P. 232–239.

39 Теречик Л.Ф. Влияние летучих ароматических фенольных соединений на сенсорные качества и букет виноградных вин; влияние хранения в дубовых бочках // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. 2002. № 1. С. 200.

40 Vanbeneden N., Gils F., Delvaux F., Delvaux F.R. Formation of 4-vinyl and 4-ethyl derivatives from hydroxycinnamic acids: Occurrence of volatile phenolic flavour compounds in beer and distribution of Pad1-activity among brewing yeasts // Food chemistry. 2008. V. 107. № 1. P. 221–230.

41 Oelofse A., Lonvaud-Funel A., Du Toit M. Molecular identification of *Brettanomyces bruxellensis* strains isolated from red wines and volatile phenol production // Food microbiology. 2009. V. 26. № 4. P. 377–385.

42 Harris V., Ford C.M., Jiranek V., Grbin P.R. Survey of enzyme activity responsible for phenolic off-flavour production by *Dekkera* and *Brettanomyces* yeast // Applied Microbiology and Biotechnology. 2009. V. 81. № 6. P. 1117–1127.

43 Verstrepen K.J., Derdelinckx G., Dufour J.-P., Winderickx J. et al Flavor-active esters: Adding fruitiness to beer // Journal of bioscience and bioengineering. 2003. V. 96. № 2. P. 110–118.

44 Spaepen M., van Oevelen D., Verachtert H. Fatty acids and esters produced during the spontaneous fermentation of lambic and gueuze // Journal of the Institute of Brewing. V. 84. P. 278–282.

45 Tonsmeire M. American sour beers: Innovative techniques for mixed fermentations. Boulder Colorado: Brewers Publications, 2014. 398 p.

REFERENCES

1 Steensels J., Snoek T., Meersman E., Picca Nicolino M. et al. Improving industrial yeast strains. Exploiting natural and artificial diversity, FEMS microbiology reviews. 2014. vol. 38. no. 5. pp. 947–995.

2 Steensels J., Meersman E., Snoek T., Saels V. et al. Large-scale selection and breeding to generate industrial yeasts with superior aroma production, Applied and Environmental Microbiology. 2014. vol. 80. no. 22. pp. 6965–6975.

3 Manzanares P., Valles S., Viana F. Non-Saccharomyces Yeasts in the Winemaking Process, in Molecular Wine Microbiology, Elsevier. 2011. pp. 85–110.

4 Wang C., Liu Y. Dynamic study of yeast species and Saccharomyces cerevisiae strains during the spontaneous fermentations of Muscat blanc in Jingyang, China, Food microbiology. 2013. vol. 33. no. 2. pp. 172–177.

5 Gonzalez R., Quiros M., Morales P. Yeast respiration of sugars by non-Saccharomyces yeast species. A promising and barely explored approach to lowering alcohol content of wines. Trends in Food Science & Technology. 2013. vol. 29. no. 1. pp. 55–61.

6 Danina M.M., Ivanchenko O.B. The yeast *R. Brettanomyces* in beer technology. *Vestnik MAKh* [Bulletin of the MACH]. 2015. no. 4. pp. 27-31. (in Russian).

7 Steensels J., Verstrepen K.J. Taming wild yeast. Potential of conventional and nonconventional yeasts in industrial fermentations. Annual review of microbiology. 2014. vol. 68. pp. 61–80.

8 Licker J., Acree T., Henick-Kling T. What Is "Brett" (*Brettanomyces*) Flavor? A Preliminary Investigation. ACS Symposium Series. 1998. vol. 714.

9 Wedral D., Shewfelt R., Frank J. The challenge of *Brettanomyces* in wine. LWT – Food Science and Technology. 2010. vol. 43. no. 10. pp. 1474–1479.

10 Steensels J., Daenen L., Malcorps P., Derdelinckx G. et al. *Brettanomyces* yeasts – From spoilage organisms to valuable contributors to industrial fermentations. International journal of food microbiology. 2015. vol. 206. pp. 24–38.

11 Passoth V., Blomqvist J., Schnurer J. *Dekkera bruxellensis* and *Lactobacillus* vini form a stable ethanol-producing consortium in a commercial alcohol production process. Applied and Environmental Microbiology. 2007. vol. 73. no. 13. pp. 4354–4356.

12 Dzhafarov M.M. Intermedius *Brettanomyces* strains from spontaneous fermented milk products. *Molochnaya promyshlennost'* [The dairy industry]. 2012. no. 6. pp. 58–59. (in Russian).

13 Ponomareva O.I., Ivanova V.A., Prokhorchik I.P., Meledina T.V. The yeast of genus *Brettanomyces*. Characteristics and features of the metabolic. *Pivoinapitki* [Beer and drinks]. 2017. no. 1. pp. 38–42. (in Russian).

14 Shantha Kumara H.M.S., Verachtert H. Identification of lambic super attenuating micro-organisms by the use of selective antibiotics. Journal of the Institute of Brewing. 1991. vol. 97. pp. 181–185.

15 Blomqvist J., Nogue V.S., Gorwa-Grauslund M., Passoth V. Physiological requirements for growth and competitiveness of *Dekkera bruxellensis* under oxygen-limited or anaerobic conditions. Yeast. 2012. vol. 29. no. 7. pp. 265–274.

16 Reis A.L., Rodrigues de Souza R.F., Baptista Torres R.R., Leite F.C. et al. Oxygen-limited cellobiose fermentation and the characterization of the cellobiase of an industrial *Dekkera/Brettanomyces bruxellensis* strain. Springer Plus. 2014. vol. 3. no. 1. p. 38.

17 Blomqvist J., Eberhard T., Schnurer J., Passoth V. Fermentation characteristics of *Dekkera bruxellensis* strains. Applied microbiology and biotechnology. 2010. vol. 87. no. 4. pp. 1487–1497.

18 Leite F.C.B., Basso T.O., Pita W.d.B., Gombert A.K. et al. Quantitative aerobic physiology of the yeast Dekkerabruxellensis, a major contaminant in bioethanol production plants. FEMS yeast research. 2013. vol. 13. no. 1. pp. 34–43.

19 Barros Pita W. de, Leite F.C.B., Souza Liberal A.T. de, Simoes D.A. et al. The ability to use nitrate confers advantage to *Dekkera bruxellensis* over S. cerevisiae and can explain its adaptation to industrial fermentation processes. Antonie van Leeuwenhoek. 2011. vol. 100. no. 1. pp. 99–107.

20 Tiukova I.A., Petterson M.E., Tellgren-Roth C., Bunikis I. et al. Transcriptome of the Alternative Ethanol Production Strain *Dekkera bruxellensis* CBS 11270 in Sugar Limited, Low Oxygen Cultivation. PloS one. 2013. vol. 8. no. 3. pp. e58455.

21 Crauwels S., Steensels J., Aerts G., Willems K. et al. *Brettanomyces Bruxellensis*, Essential Contributor in Spontaneous Beer Fermentations Providing Novel Opportunities for the Brewing Industry. Brewing Science. 2015. vol. 68. pp. 110–121.

22 Gonde P., Blondin B., Leclerc M., Ratomahenina R. et al. Fermentation of cellodextrins by different yeast strains. Applied and Environmental Microbiology. 1984. vol. 48. no. 2. pp. 265–269.

23 Kumara H.M., Cort S. de, Verachtert H. Localization and Characterization of alpha-Glucosidase Activity in *Brettanomyces lambicus*. Applied and Environmental Microbiology. 1993. vol. 59. no. 8. pp. 2352–2358.

24 Costa A., Barata A., Malfeito-Ferreira M., Loureiro V. Evaluation of the inhibitory effect of dimethyl dicarbonate (DMDC) against wine microorganisms. Food microbiology. 2008. vol. 25. no. 2. pp. 422–427.

25 Sturm M.E., Arroyo-Lopez F.N., Garrido-Fernandez A., Querol A. et al. Probabilistic model for the spoilage wine yeast *Dekkera bruxellensis* as a function of pH, ethanol and free SO_2 using time as a dummy variable, International journal of food microbiology. 2014. vol. 170. pp. 83–90.

26 Conterno L., Aprea E., Franceschi P., Viola R. et al. Overview of *Dekkera bruxellensis* behaviour in an ethanol-rich environment using untargeted and targeted metabolomic approaches. Food Research International. 2013. vol. 51. no. 2. pp. 670–678.

27 Bokulich N.A., Bamforth C.W., Mills D.A. Brewhouse-resident microbiota are responsible for multi-stage fermentation of American coolship ale. PloSone, 2012. vol. 7. no. 4. e35507.

28 Martens H., Iserentant D., Verachtert H. Microbiological aspects of a mixed yeast-bacterial fermentation in the production of a special Belgian acidic ale. Journal of the Institute of Brewing. 1997. vol. 103. no. 2. pp. 85–91.

29 Spitaels F., Wieme A.D., Janssens M., Aerts M. et al. The microbial diversity of traditional spontaneously fermented lambic beer. PloS one. 2014. vol. 9. no. 4. e95384.

30 van Oevelen D., Spaepen M., Timmermans P., Verachtert H. Microbiological aspects of spontaneous wort fermentation in the production of lambic and gueuze. Journal of the Institute of Brewing. 1977. vol. 83. pp. 356–360.

31 Vavilova O.I. Express selected in manufacturing plants wine zavodna based peptidomimetic analysis. *Ekologicheskaya bezopasnost' v APK. Referativnyi zhurnal* [Environmental security in agriculture. Abstract journal]. 2005. no. 3. pp. 810. (in Russian).

32 Zagoruiko V.A. et al. Identification of the yeast species *Brettanomyces bruxellensis* using specific primers. *Vinogradarstvo I vinodelie* [Viticulture and winemaking]. 2009. no. 39. pp. 57–60. (in Russian).

33 Kuz'mina T.D. A study of the microflora destabilized white wines. (Bulgaria). *Pishchevaya I pererabatyvayushchaya promyshlennost'. Referativny izhurnal* [Food and processing industry. Abstract journal]. 1999. no. 1. pp. 151. (inRussian).

34 Verachtert H., Debourg A. Properties of belgian acid beers and their microflora. I. The production of gueuze and related refreshing acid beers. pp. 37–41.

35 Curtin C.D., Langhans G., Henschke P.A., Grbin P.R. Impact of Australian *Dekkera bruxellensis* strains grown under oxygen-limited conditions on model wine composition and aroma. Food microbiology. 2013. vol. 36. no. 2. pp. 241–247.

36 Buron N., Coton M., Legendre P., Ledauphin J. et al. Implications of *Lactobacillus* collinoides and *Brettanomyces/Dekkera anomala* in phenolic off-flavour defects of ciders. International journal of food microbiology. 2012. vol. 153. no. 1-2. pp. 159–165.

37 Chatonnet P., Dubourdie D., Boidron J.-N., Pons M. The origin of ethylphenols in wines. Journal of the science of food and agriculture. 1992. vol. 60. no. 2. pp. 165–178.

38 Edlin D.A.N., Narbad A., Gasson M.J., Dickinson J.R. et al. Purification and characterization of hydroxycinnamate decarboxylase from *Brettanomyces anomalus*. Enzyme and Microbial Technology. 1998. vol. 22. no. 4. pp. 232–239.

39 Terechik L.F. The influence of volatile aromatic phenolic compounds on the sensory quality and bouquet of the wines. Pis*hchevaya I pererabatyvayushchaya promyshlennost'. Referativny izhurnal* [Food and processing industry. Abstract journal]. 2002. no. 1. pp. 200. (inRussian).

40 Vanbeneden N., Gils F., Delvaux F., Delvaux F.R. Formation of 4-vinyl and 4-ethyl derivatives from hydroxycinnamic acids. Occurrence of volatile phenolic flavour compounds in beer and distribution of Pad1-activity among brewing yeasts. Food chemistry. 2008. vol. 107. no. 1. pp. 221–230.

41 Oelofse A., Lonvaud-Funel A., Du Toit M. Molecular identification of *Brettanomyces bruxellensis* strains isolated from red wines and volatile phenol production. Food microbiology. 2009. vol. 26. no. 4. pp. 377–385.

42 Harris V., Ford C.M., Jiranek V., Grbin P.R. Survey of enzyme activity responsible for phenolic off-flavour production by *Dekkera* and *Brettanomyces* yeast. Applied Microbiology and Biotechnology. 2009. vol. 81. no. 6. pp. 1117–1127.

43 Verstrepen K.J., Derdelinckx G., Dufour J.-P., Winderickx J. et al. Flavor-active esters. Adding fruitiness to beer. Journal of bioscience and bioengineering. 2003. vol. 96. no. 2. pp. 110–118.

44 Spaepen M., van Oevelen D., Verachtert H. Fatty acids and esters produced during the spontaneous fermentation of lambic and gueuze. Journal of the Institute of Brewing. vol. 84. pp. 278–282.

45 Tonsmeire, M. American sour beers: Innovative techniques for mixed fermentations. Boulder Colorado, Brewers Publications, 2014. 398 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Инна В. Новикова д.т.н., профессор, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия,noviv@list.ru

Илья А. Юрицын аспирант, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kafedra_tbisp@mail.ru

Александр С. Муравьев к.т.н., инженер, отдел стандартизации и метрологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, hntrun@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 13.06.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 22.08.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Inna V. Novikova Dr. Sci. (Engin.), professor, technologies of fermentation and sugar industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia,noviv@list.ru

Ilya A.Yuritsyn graduate student, technologies of fermentation and sugar industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kafedra_tbisp@mail.ru

Aleksandr S. Muravev Cand. Sci. (Engin.), engineer, department of metrology and standardization, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, hntrun@mail.ru

CONTRIBUTION

All authors equally took part in writing the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 6.13.2018

ACCEPTED 8.22.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 664.12

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-151-155

Состояние пищевой системы утфеля I кристаллизации при совокупном действии ПАВ, деколоранта сахара, антинакипина

Любовь И. Беляева [1] info@rniisp.ru
Алла В. Остапенко [1] th@rniisp.ru
Валентина Н. Лабузова [1] lvn85@mail.ru
Татьяна И. Сысоева [1] th@rniisp.ru

[1] Курский НИИ АПП, пос. Черемушки, Курская обл., Курский р-н, 305526, Россия

Аннотация. На современном этапе для свеклосахарных заводов стран СНГ в связи с выходом на мировой рынок обозначился тренд выпуска белого сахара высокого качества. Показано, что качество белого сахара во многом определяется состоянием пищевой системы утфеля I кристаллизации, при формировании которой применяются технологические вспомогательные средства функциональных групп ПАВ, деколоранты сахара, антинакипины. Отмечено, что между применяемыми средствами возможны совместные взаимодействия в виде антагонизма-синергизма, которые влияют в конечном итоге на качество белого сахара. В связи с этим целесообразно изучить совокупное влияние средств указанных функциональных групп на изменение состояния пищевой системы утфеля I. Данную задачу решали с использованием разработанного ранее методического подхода на основе определения репрезентативных показателей твердой и жидкой фаз пищевой системы утфеля – содержания кристаллов, коэффициента неоднородности, среднего размера кристаллов, вязкости, цветности, содержания солей кальция, оптимальные значения которых свидетельствуют об устойчивом состоянии пищевой системы, отклонения от них – неустойчивом. Схема опытов включала 5 комбинаций с локальным и совместным введением ПАВ Defospum, деколоранта сахара Е 221, антинакипина Kebo DS. Выявлено, что при совместном применении ПАВ и деколоранта сахара пищевая система утфеля характеризовалась устойчивым состоянием при наилучших значениях показателей: цветность жидкой фазы была на 5,8% ниже в сравнении с автономным применением деколоранта, вязкость – ниже на 1,6% в сравнении с автономным применением ПАВ. Выдвинуто предположение, что указанное обусловлено синергетическим влиянием, в первом случае – ПАВ на функциональное действие деколоранта сахара, во втором – наоборот, деколоранта на функциональное действие ПАВ. Показано, что полученный из такой пищевой системы сахар соответствовал белому сахару категории ТС1. Мигрирование в пищевую систему утфеля остаточных количеств антинакипина, выступающего антагонистом к деколоранту сахара и ПАВ, переводит ее в неустойчивое состояние.

Ключевые слова: пищевая система утфеля I кристаллизации, поверхностно-активное вещество, деколорант сахара, антинакипин, совокупное действие, качество свекловичного белого сахара

The state of the I crystallization massecuite food system with the cumulative effect of surfactants, sugar decolorant, descaling agent

Lyubov I. Belyaeva [1] info@rniisp.ru
Alla V. Ostapenko [1] th@rniisp.ru
Valentina N. Labusowa [1] lvn85@mail.ru
Tatyana I. Sysoeva [1] th@rniisp.ru

[1] Kursk Research Institute of Agro Industrial Production, village Cheremushki, Kursk region, Kursk district, 305526, Russia

Abstract. At the present stage for the sugar beet factories of the CIS countries in connection with the entry into the world market, a trend for high quality white sugar production appeared. It is shown that the white sugar quality is largely determined by the state of the food system of the I crystallization massecuite, in the formation of which technological aids for the functional groups of surfactants, sugar decolorants, and descaling agents (descalers) are used. It is noted that between the means applied, joint interactions are possible in the form of antagonism-synergism, which ultimately affect the white sugar quality. In this regard, it is advisable to study the cumulative effect of the means of these functional groups on the change in the state of the nutritional system of the massecuite I. This task was solved using the previously developed methodological approach based on determining of representative indicators of the solid and liquid phases of the massecuite food system — crystal content, heterogeneity coefficient, average crystals size, viscosity, chromaticity, calcium salts content, the optimal values of which indicate the food system steady state, deviations from them - unstable. The experiments scheme included 5 combinations with local and joint ontroduction of Defospum surfactant, E 221 sugar decolorant, Kebo DS descaler. It was revealed that with the combined application of surfactants and sugar decolorant, the food system of the massecuite was characterized by a steady state at the best values of indicators: the color of the liquid phase was 5.8% lower compared to the autonomous use of decolorant, viscosity - 1.6% lower than the autonomous use of surfactants. It was suggested that this is due to the synergistic effect, in the first case - surfactant on the functional effect of the sugar decolorant, in the second - on the contrary, the decolorant on the functional effect of the surfactant. It was shown that the sugar obtained from such a food system corresponded to the white sugar of the TC1 category. Descaler residual quantities migrating into the food system of the massecuite antagonist to the decolorant of sugar and surfactant, makes it unstable

Keywords: I crystallization massecuite food system, surfactant, sugar decolorant, descaler, cumulative effect, white beet sugar quality

Для цитирования

Беляева Л.И., Остапенко А.В., Лабузова В.Н., Сысоева Т.И. Состояние пищевой системы утфеля I кристаллизации при совокупном действии ПАВ, деколоранта сахара, антинакипина // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 151–155. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-151-155

For citation

Belyaeva L.I., Ostapenko A.V., Labuzova V.N., Sysoeva T.I. The state of the I crystallization massecuite food system with the cumulative effect of surfactants, sugar decolorant, descaling agent. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 151–155. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-151-155

Введение

Пищевая система утфеля I кристаллизации свеклосахарного производства представляет собой сложную поликомпонентную систему, состоящую из твердой фазы (кристаллов сахарозы) и жидкой (межкристального раствора), образующуюся из сиропа с клеровкой и являющуюся основой получения белого сахара. Именно ее состоянием, устойчивым или неустойчивым, во многом определяется качество вырабатываемого белого сахара.

На современном этапе для сахаропроизводящих стран СНГ в связи с выходом на мировой рынок обозначился тренд выпуска белого сахара высокого качества [1]. Производство высококачественного белого сахара в условиях технологических линий сахарных заводов предусматривает использование различных приемов: применение фильтрационного оборудования, обеспечивающего высокую степень очистки сиропа с клеровкой; увеличение количества ступеней кристаллизации; увеличение длительности цикла промывки кристаллов сахара при центрифугировании; применение технологических вспомогательных средств (ТВС) [2–4].

В технологии уваривания утфеля I неотъемлемым элементом является использование ТВС функциональной группы поверхностно-активных веществ (ПАВ), технологический эффект которых заключается в снижении пенения и уменьшении вязкости кристаллизуемой пищевой системы утфеля, что способствует интенсификации массообмена, обеспечению максимальных значений истощения межкристального раствора и улучшению кристаллоструктуры утфеля [5]. В последние годы сформировалась новая функциональная группа ТВС – деколоранты сахара, технологическая функция которых проявляется в усилении интенсивности белого цвета кристаллов сахара, снижении его цветности в растворе [6, 7]. Кроме того, в пищевую систему утфеля I с сиропом мигрирует остаточное количество структурно связанного с нерастворимыми солями кальция антинакипина (до 30% от вводимой дозы), который используют в процессе сгущения сока, его технологическое действие заключается в диспергировании нерастворимых солей кальция в концентрируемом очищенном соке [8].

Между тем известно, что при комбинации применяемых ТВС возможны взаимодействия между средствами в виде антагонизма-синергизма, которые влияют как на заявленный технологический эффект средств, так и на состояние пищевой системы и в конечном итоге на результативность функционирования технологической линии в целом, на качество белого сахара [9].

Целью данного исследования являлось изучение влияния совокупного действия ТВС функциональных групп ПАВ, деколорантов сахара и антинакипинов на пищевую систему утфеля I кристаллизации свеклосахарного производства, качество белого сахара.

Материалы и методы

Объектом исследования являлась пищевая система утфеля I кристаллизации, формируемая с применением ПАВ Defospum, деколоранта сахара – сульфита натрия (Е 221), антинакипина Kebo DS, и полученный из нее белый сахар.

Исследования выполнялись с использованием разработанного ранее методического подхода [8]. Состояние пищевой системы утфеля I изучали на участке образования и наращивания кристаллов сахарозы, на котором отмечается совокупное действие исследуемых ТВС (рисунок 1).

Схема опытов включала 5 вариантов с локальным и совместным введением средств: 1 – ПАВ; 2 – деколоранта сахара; 3 – ПАВ и деколоранта сахара; 4 – деколоранта сахара и антинакипина; 5 – ПАВ, деколоранта сахара и антинакипина. Дозы и точки ввода средств употреблены согласно технологической документации по их применению.

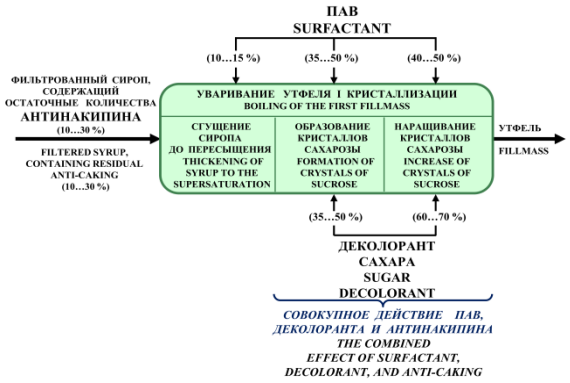


Рисунок 1. Структурная схема участка совокупного действия ПАВ, деколоранта сахара и антинакипина при уваривании утфеля I кристаллизации

Figure 1. Structure scheme of the section of collective effect of surfactant, sugar decolorant and anti-caking whwn boiling the first fillmass

Состояние пищевой системы утфеля в опытах диагностировали как устойчивое или неустойчивое. Устойчивое состояние характеризовалось оптимальными значениями репрезентативных показателей твердой фазы – содержание кристаллов (К) 50–55%, коэффициент неоднородности кристаллов (Кн) менее 31,0%, средний размер кристаллов (Ср) 0,60–0,80 мм; жидкой фазы – вязкость (μ) 0,120–0,150 Па·с, цветность (Цв) 1600 ед. опт. пл.; содержание солей кальция (А) менее 0,15% к массе СВ; неустойчивое – при отклонении хотя бы одного показателя от оптимальных значений.

Оценку образцов белого сахара проводили по органолептическому показателю – цвету по разработанной 5-балльной шкале: 5 баллов – отлично выраженный идеальный белый цвет, 4 – хорошо выраженный белый цвет, 3 – белый цвет с едва заметным желтоватым оттенком, 2 – белый цвет с желтоватым оттенком; 1 – желтый цвет; по физико-химическим показателям – согласно ГОСТ 12571, ГОСТ 12572, ГОСТ 12575, ГОСТ 34201.

Результаты и обсуждение

Средние значения показателей состояния пищевой системы утфеля I по вариантам опытов приведены в таблице 1. Как видно, пищевая система при введении в нее ТВС указанных функциональных групп в различных комбинациях находилась в разном состоянии. Полагаем, что эти различия обусловлены разным воздействием на нее применяемых ТВС. Так, при автономном использовании ПАВ, деколоранта сахара, их совместном применении пищевая система характеризовалась устойчивым состоянием, подтвержденным оптимальными значениями репрезентативных показателей. При этом наилучшие значения показателей отмечались в последнем варианте: цветность жидкой фазы была ниже на 10,1 и 5,8% в сравнении с автономным применением ПАВ и деколоранта сахара. По нашему мнению, это можно объяснить синергетическим влиянием ПАВ на функциональное действие деколоранта сахара, способствующим более эффективному протеканию реакций в жидкой фазе: образования свободных сульфит-ионов и блокирования ими карбонильных групп редуцирующих веществ, образования бесцветных соединений с рядом красящих веществ. Вязкость жидкой фазы при совокупном действии снизилась на 1,6% по сравнению с автономным применением ПАВ, что явилось, по-видимому, результатом синергетического влияния деколоранта на технологическое действие ПАВ, выраженным в содействии улучшению реологических свойств жидкой фазы за счет изменения ее химического состава.

Оптимальные параметры жидкой фазы позволили улучшить условия кристаллизации сахарозы, предотвратив спонтанное зародышеобразование и рекристаллизацию, которые являются лимитирующим фактором в формировании кристаллоструктуры утфеля [10]. Вероятно, указанное, привело к увеличению содержания кристаллов в утфеле на 1,5 и 4,2%, их большей однородности. Следует предположить, что полученный из такой пищевой системы белый сахар будет высокого качества.

Пищевая система при совокупном действии ТВС по двум другим вариантам опыта находилась в неустойчивом состоянии. По-видимому, такое состояние системы обусловило повышенное содержание солей кальция в жидкой фазе на 28,0 и 22,7% от оптимального значения, вызванное действием остаточного количества антинакипина, удерживающего их в диспергированном виде. Это, в свою очередь, привело к повышению вязкости, ухудшению реологических свойств жидкой фазы, затруднило массообмен и снизило скорость кристаллизации в целом. То есть антинакипин при установленном ранее его антагонистическом влиянии на ПАВ [9] проявил аналогичное действие в отношении деколоранта сахара. Такое изменение свойств жидкой фазы отразилось на показателях твердой фазы утфеля – снизилось содержание кристаллов, проявилась их неоднородность. Полученные данные согласуются с результатами исследований [9, 11], выявившими отрицательное влияние солей кальция на вязкость межкристального раствора утфеля, замедление роста кристаллов сахарозы.

Таблица 1.

Показатели пищевой системы утфеля по вариантам опыта (средние значения)

Table 1.

The indicators of the first fillmass by the treatments of the experiment (average values)

Вариант опыта Indicator name	Показатель пищевой системы утфеля | Indicator of first fillmass food system						
	твердая фаза | solid phase			жидкая фаза | liquid phase			состояние condition
	К, %	$К_н$, %	$С_р$, мм mm	μ, Па×с Pa×s	Цв, ед. опт. пл. unit of colour density	А, % к массе СВ by weight DM	
ПАВ | Surfactant	53,3	27,3	0,72	0,125	1590	0,138	Устойчивое Stable
Деколорант | Decolourant	50,6	28,2	0,63	0,135	1518	0,140	Устойчивое Stable
ПАВ+деколорант Surfactant +decolourant	54,8	26,9	0,75	0,123	1430	0,136	Устойчивое Stable
Деколорант+антинакипин Decolourant + anti-caking	42,6	36,4	0,59	0,176	1603	0,192	Неустойчивое Unstable
ПАВ +деколорант+антинакипин Surfactant + decolourant + anti-caking	48,7	33,6	0,69	0,152	1599	0,184	Неустойчивое Unstable

Разное состояние пищевой системы утфеля в рассмотренных вариантах опыта отразилось по-разному на качестве полученных образцов сахара. Представленные в таблице 2 данные демонстрируют основные органолептические и физико-химические показатели образцов сахара по вариантам опыта. Так, наилучшие значения показателей отмечены в варианте совместного применения ПАВ и деколоранта сахара: сахар отличался идеальным белым цветом и получил оценку в 5 баллов; по основным физико-химическим показателям он соответствовал белому сахару категории ТС1. Цветность сахара в растворе была ниже в 1,6 и 1,1 раза в сравнении с вариантами автономного применения ПАВ, деколоранта сахара. Более низкая массовая доля редуцирующих веществ обусловлена эффективным функциональным действием деколоранта сахара в пищевой системе, заключающимся в блокировании их карбонильных групп.

Образцы сахара, полученные при автономном введении в пищевую систему утфеля деколоранта сахара, имели хорошо выраженный белый цвет, оценены в 4 балла; по совокупности всех физико-химических показателей соответствовали категории ТС2.

Пониженную органолептическую оценку продемонстрировали образцы сахара, полученные по вариантам автономного применения ПАВ; совместного применения деколоранта сахара и антинакипина; совместного применения ПАВ, деколоранта сахара и антинакипина. Они имели выраженный в разной степени желтоватый оттенок, оценены в 3 и 2 балла. При автономном применении ПАВ образцы сахара по основным физико-химическим показателям соответствовали категории ТС2. В образцах сахара по двум вариантам с антинакипином наблюдалась более высокая цветность в растворе, а массовая доля золы превысила норматив, регламентированный для категории ТС2, переводя их по этому показателю в категорию ТС3.

Массовая доля диоксида серы во всех образцах сахара не превышала допустимого уровня и соответствовала диапазонам содержания диоксида серы в белом сахаре российских заводов [12].

Таблица 2.

Показатели образцов белого сахара по вариантам опыта (средние значения)

Table 2.

The indicators of the white sugar samples (average values)

Наименование показателя Indicator name	Вариант опыта Experiment treatment				
	1	2	3	4	5
Массовая доля сахарозы по прямой поляризации, % Mass fraction of sucrose by direct polarization, %	99,74	99,71	99,75	99,70	99,73
Массовая доля редуцирующих веществ (в пересчете на сухое вещество), % Mass fraction of reducing agents (in terms of dry material), %	0,041	0,035	0,032	0,040	0,038
Массовая доля золы (в пересчете на сухое вещество), % Mass fraction of ash (in terms of dry material), %	0,035	0,034	0,032	0,039	0,037
Цветность в растворе, ед. опт. пл. | Coloration in solution, unit of colour density	91,9	66,4	59,4	97,5	92,3
Цвет, балл | Color, number	3	4	5	2	3
Массовая доля диоксида серы, мг/кг сахара Mass fraction of sulphur dioxide, mg/kg sugar	1,6	2,6	1,8	3,2	2,4

Заключение

Результаты проведенных исследований показали разное состояние пищевой системы утфеля I кристаллизации свеклосахарного производства при применении ПАВ, деколоранта сахара и антинакипина в различных комбинациях. При совместном применении ПАВ и деколоранта сахара система характеризуется устойчивым состоянием за счет синергетического взаимодействия между ними, что дает возможность получения белого сахара категории ТС1. Мигрирование в пищевую систему утфеля остаточного количества антинакипина переводит ее в неустойчивое состояние.

ЛИТЕРАТУРА

1 Егорова М.И. Сахар: эволюция требований потребителей // Сахар. 2014. № 7. С. 16–17.

2 Sarir E.M.I, Pabon B.R., Donado C.A. Colour precipitants state of the art for direct production of high quality white sugars // International sugar journal. 2015. V. 117. № 1400. P. 596–597.

3 Gula F., Burris B., Lancrenon X. The use of ion exchange resins for beet sugar juice processing // International sugar journal. 2007. V. 109. № 1300. P. 235–238.

4 Campos D., Mescua L., Chirinos R., Pedreschi R. Effect of Yacon (Smallanthus sonchifolius) fructooligosaccharide purification technique using activated charcoal or ion exchange fixed bed column on recovery, purity and sugar content // International sugar journal. 2017. № 12. (52). P. 2637-2646.

5 Славянский А.А., Мойсеяк М.Б. Поверхностно-активные вещества: применение в сахарном производстве // Сахар. 2007. № 3. С. 32–35.

6 Беляева Л.И., Остапенко А.В., Лабузова В.Н., Сысоева Т.И. Деколоранты сахара – новая функциональная группа технологических вспомогательных средств // Известия вузов. Пищевая технология. 2018. № 4 (364). С. 33–36.

7 Сидо О.Н., Зубик М.В., Мойсеяк М.Б., Шумовецкий Г.А. Анализ технологии получения утфеля I кристаллизации // Сахар. 2009. № 7. С. 58–61.

8 Беляева Л.И., Лабузова В.Н., Остапенко А.В., Скрипко Е.М. Методические аспекты интегрирования технологических вспомогательных средств в технологический поток производства свекловичного сахара // Вестник ВГУИТ. 2016. № 3. С. 247–251.

9 Беляева Л.И., Лабузова В.Н., Остапенко А.В. Оценка совокупного действия антинакипина и ПАВ в производстве сахара // Инновационные технологии в пищевой промышленности: материалы XV межд. науч.-практ. конф., 5–6 октября 2016 г. Минск: ИВЦ Минфина, 2016. С. 74–77.

10 Мирончук В.Г., Ещенко О.А. Анализ процесса уваривания сахарных утфелей на основе имитационного моделирования // Сахар Украины. 2013. № 1(85). С. 47–52.

11 Grbic J., Mucibabic R.J. Sucrose crystal growth rate in pure solutions and in the presence of calcium acetate // International sugar journal. 2008. № 1310. P. 116–119.

12 Егорова М.И., Широких Е.В., Кретова Я.А. Результаты мониторинга содержания диоксида серы в сахаре // Сахар. 2016. № 7. С. 39–41.

REFERENCES

1 Egorova M.I. Sugar: evolution of custumer requirements. *Sahar* [Sugar]. 2014. no 7. pp. 16–17.(in Russian)

2 Sarir E.M.I, Pabon B.R., Donado C.A. Colour precipitants state of the art for direct production of high quality white sugars. International sugar journal. 2015. vol. 117. no 1400. pp. 596–597.

3 Gula F., Burris B., Lancrenon X. The use of ion exchange resins for beet sugar juice processing. International sugar journal. 2007. vol. 109. no.1300. pp. 235–238.

4 Campos D., Mescua L., Chirinos R., Pedreschi R. Effect of Yacon (Smallanthus sonchifolius) fructooligosaccharide purification technique using activated charcoal or ion exchange fixed bed column on recovery, purity and sugar content. International sugar journal. 2017. no.12 (52). pp. 2637–2646.

5 Slavyanski A.A., Moiseyak M.B. Surfactants: application in sugar production. *Sahar* [Sugar]. 2007. no. 3. pp. 32–35.(in Russian)

6 Belyaeva L.I., Ostapenko A.V., Labuzova V.N., Sysoyeva T.I. Sugar decolorants is a new functional group of technjlogical aids. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [Bulletin of Higher Institutions. Food Industry]. 2018. no. 4 (364). pp. 33–36. (in Russian)

7 Sido O.N., Zubik M.V., Moiseyak M.B., Shumovetski U.A. The analysis of the technology of producing the first fillmass. *Sahar* [Sugar]. 2009. no. 7. pp. 68–71. (in Russian)

8 Belyaeva L.I., Labuzova V.N., Ostapenko A.V., Skripko E.M. Methodical aspects of integrating technological aids into technological flow of beet sugar production. *Vestnik VGUIT* [Proceedins of VSUET]. 2016. no. 3. pp. 247–251. (in Russian)

9 Belyaeva L.I., Labuzova V.N., Ostapenko A.V. The estimation of collective effect of anti-caking and surfactants in sugar production. Innovacionnye tekhnologii v pishchevoj promyshlennosti [Innovative technologies in food industry: Proceedings of XV Int. Sci. Conf. October 5-6, 2016]. Minsk, ITC Ministry of Finance, 2016. pp. 74–77. (in Russian)

10 Mironchuk V.G., Yeshchenko O.A. The analysis of fillmass boiling process based on imitation modeling. *Sahar Ukrainy* [Sugar of Ukraine]. 2013. no. 1(85). pp. 47–52. (in Ukrainian)

11 Grbic J., Mucibabic R.J. Sucrose crystal growth rate in pure solutions and in the presence of calcium acetate. International sugar journal. 2008. no. 1310. pp. 116–119.

12 Egorova M.I., Shirokikh E.V., Kretova Ya. A. The results of monitoring sulphur dioxide content in sugar. *Sahar* [Sugar]. 2016. no. 7. pp. 39–41. (in Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Любовь И. Беляева к.т.н., зам. директора, Курский научно-исследовательский институт агропромышленного производства, пос. Черемушки, Курский р-н, Курская обл., 305526, Россия, info@rniisp.ru

Алла В. Остапенко ст. научный сотрудник, технологический отдел, Курский научно-исследовательский институт агропромышленного производства, пос. Черемушки, Курский р-н, Курская обл., 305526, Россия, th@rniisp.ru

Валентина Н. Лабузова ст. научный сотрудник, технологический отдел, Курский научно-исследовательский институт агропромышленного производства, пос. Черемушки, Курский р-н, Курская обл., 305526, Россия, lvn85@mail.ru

Татьяна И. Сысоева научный сотрудник, технологический отдел, Курский научно-исследовательский институт агропромышленного производства, пос. Черемушки, Курский р-н, Курская обл., 305526, Россия, th@rniisp.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 02.10.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 18.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Lyubov I. Belyaeva Cand. Sci. (Engin.), deputy director, Kursk Research Institute of Agro Industrial Production, village Cheremushki, Kursk region, Kursk district, 305526, Russia, info@rniisp.ru

Alla V. Ostapenko senior researcher, technology department, Kursk Research Institute of Agro Industrial Production, village Cheremushki, Kursk region, Kursk district, 305526, Russia, th@rniisp.ru

Valentina N. Labusowa senior researcher, technology department, Kursk Research Institute of Agro Industrial Production, village Cheremushki, Kursk region, Kursk district, 305526, Russia, lvn85@mail.ru

Tatyana I. Sysoeva researcher, technology department, Kursk Research Institute of Agro Industrial Production, village Cheremushki, Kursk region, Kursk district, 305526, Russia, th@rniisp.ru

CONTRIBUTION

All authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.2.2018

ACCEPTED 11.18.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 54.03:[544.032+54-16]

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-156-163

О молекулярных факторах полигликанов свекловичного жома, определяющих их водоудерживающую способность

Владимир В. Кондратенко [1] nauka@vniitek.ru
Татьяна Ю. Кондратенко [1] ktatyana-19@mail.ru
Мария А. Царёва [1] inquisitorilohi@mail.ru
Анна Ю. Давыдова [1] ann-nety@mail.ru
Нина М. Алабина [1]

[1] ВНИИТеК – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова», ул. Школьная, 78, г. Видное, МО, 142703, Россия

Аннотация. Базовым структурным элементом клеточных стенок свекловичного жома являются пищевые волокна, поэтому глубокая переработка данного вида сырья представляет значительный интерес. Одним из основных физико-химических свойств пищевых волокон, использующихся при производстве пищевых продуктов, является их водоудерживающая способность. Однако пищевые волокна свекловичного жома, как гетерогенные полимерные компоненты, исключительно лабильные к условиям их извлечения. В этой связи актуальным является выявления технологических факторов и их рациональной последовательности, при которых целевые свойства будут выражены в максимальной степени. Авторами был разработан разветвлённый алгоритм последовательного извлечения пищевых волокон из свекловичного жома с избирательной обработкой гомоферментными препаратами, включая разные варианты предварительной подготовки сырья. В результате были выделены образцы свекловичных волокон (преимущественно гомогалакутронаны), соответствующие ключевым узлам-графам разработанного алгоритма. Для каждого образца была определена величина водоудерживающей способности, а также спектр комбинационного рассеяния на волне возбуждения 785 нм с продолжительностью сканирования спектра 3 с и 50 проходами на один спектр. В процессе исследований было установлено ключевое влияние степени насыщенности матрикса клеточных стенок ионами поливалентных металлов. При этом в присутствии катионов в матриксе ключевую роль в формировании водоудерживающей способности играет как количество однотипных стадий ферментирования, так и их продолжительность. В отсутствие катионов водоудерживающая способность зависит только от природы полимерных продуктов ферментирования. Методом главных компонент установлено, что водоудерживающая способность находится в тесной зависимости от активности атомов кислорода гликозидных связей между звеньями полимерной цепи, а также активности гидроксильных групп, не принадлежащих углеводному кольцу. Тем не менее, используемые главные компоненты описывают лишь 53,5% дисперсии высот пиков, что может говорить об участии в формировании пиков и каких-либо сторонних факторов, что говорит о необходимости дальнейших исследований.

Ключевые слова: пищевые волокна, свекловичный жом, водоудерживающая способность, гомогалактуронаны, неуронидные пищевые волокна, ферменты, гомоферментные препараты

On the molecular factors of sugar beet pulp polyglycans ensuring their water-holding capacity

Vladimir V. Kondratenko [1] nauka@vniitek.ru
Tatyana Yu. Kondratenko [1] ktatyana-19@mail.ru
Mariya A. Tsaryova [1] inquisitorilohi@mail.ru
Anna Yu. Davidova [1] ann-nety@mail.ru
Nina M. Alabina [1]

[1] VNIITeK – Branch of Gorbatov Research Center for Food Systems, Scholnaya Str., 78, Vidnoye, M.R., 142703, Russia

Abstract. The basic structural element of the cell walls of beet pulp is dietary fibers, therefore deep processing of this type of raw material is of considerable interest. One of the main physicochemical properties of dietary fibers used in food production is their water holding capacity. However, dietary fibers of beet pulp, as heterogeneous polymer components, are extremely labile to the conditions of their extraction. In this regard, it is relevant to identify technological factors and their rational sequence, in which the target properties will be expressed to the maximum extent. The authors developed an extensive algorithm for the sequential extraction of dietary fibers from beet pulp with selective processing by homofermental preparations, including various options for the preliminary preparation of raw materials. As a result, samples of beet fibers (mainly homogluacutronanes), corresponding to the key graph nodes of the developed algorithm, were identified. For each sample, the magnitude of water holding capacity was determined, as well as the Raman spectrum on an excitation wave of 785 nm with a spectrum scan duration of 3 s and 50 passes per spectrum. In the process of research, the key influence of the degree of saturation of the cell wall matrix with polyvalent metal ions was established. At the same time, in the presence of cations in the matrix, the number of fermentation stages of the same type and their duration play a key role in the formation of water-holding capacity. In the absence of cations, water holding capacity depends only on the nature of the polymer fermentation products. By the method of principal components, it was established that the water-holding capacity is closely related to the activity of oxygen atoms of glycosidic bonds between the links of the polymer chain, as well as the activity of hydroxyl groups not belonging to the carbohydrate ring. However, the main components used describe only 53.5% of the peak heights dispersion, which may indicate participation in the formation of peaks and any third-party factors, which indicates the necessity of further research..

Keywords: food fibers, sugar beet pulp, water-holding capacity, homogalacturonans, nonuronid food fibers, enzymes, homoenzyme substances

Для цитирования

Кондратенко В.В., Кондратенко Т.Ю., Царёва М.А., Давыдова А.Ю., Алабина Н.М. О молекулярных факторах полигликанов свекловичного жома, определяющих их водоудерживающую способность // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 156–163. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-156-163

For citation

Kondratenko V.V., Kondratenko T.Yu., Tsaryova M.A., Davidova A.Yu., Alabina N.M. On the molecular factors of sugar beet pulp polyglycans ensuring their water-holding capacity. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 156–163. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-156-163

Введение

Пищевые волокна обладают широким спектром физиологического воздействия на организм, основным из которых является детоксикация организма и стимулирование пищеварения. Различные виды пищевых волокон способны выводить из организма холестерин, радионуклиды и тяжёлые металлы, выравнивать уровень глюкозы в крови, стимулировать перистальтику кишечника, обладают обволакивающими и пребиотическими свойствами [1,2]. Отличительная особенность их в устойчивости к гликолитическим ферментам [3]. В толстом кишечнике пищевые волокна частично гидролизуются микробными ферментами [4]. Благодаря безопасности и физико-химическим свойствам пищевые волокна признаны эссенциальным элементом в питании человека, и их недостаток в ежедневном рационе способен привести к развитию рака прямой кишки, желчнокаменной болезни, атеросклерозу, аппендициту, ишемической болезни сердца и другим заболеваниям [5, 6]. В России физиологическая потребность в пищевых волокнах определена на уровне 20 г в сутки для взрослого человека и 10–20 г. в сутки для детей старше трёх лет [7]. В других странах принятые нормы могут отличаться, в частности, в соответствии с рекомендациями Всемирной организации здравоохранения норма составляет 25–35 г в сутки [4]. При избыточном потреблении пищевых волокон может проявиться отрицательное влияние на организм. Пищевые волокна способны выводить не только токсичные, но также и многие эссенциальные вещества, такие как витамины, аминокислоты и др [8].

По определению к пищевым волокнам могут быть отнесены преимущественно структурные олиго- и полигликаны и даже некоторые полимерные соединения неуглеводной природы [9, 10]. В природе они являются компонентами клеточных стенок растений. Химический и компонентный состав пищевых волокон может зависеть от таксономической принадлежности растения, типа ткани и её физиологического состояния. К пищевым волокнам относят такие полигликаны, как целлюлоза, гемицеллюлозы, камеди, пектин, слизи, каррагинаны и альгиновые кислоты. Они могут быть как гомогенны, так и гетерогенны по молекулярному составу, иметь различные функциональные группы (метоксильные, гидроксильные, ацетильные, амидные, карбоксильные), иметь линейную, либо разветвлённую цепь, находиться в различных конформациях [9]. Все это определяет их физико-химические свойства, к которым традиционно относят сорбционную ёмкость и водоудерживающую способность. Также они проявляют свойства пребиотиков [10]. По растворимости пищевые волокна разделяют на хорошо растворимые, или мягкие, набухающие и нерастворимые, или грубые волокна [11]. По водоудерживающей способности их подразделяют на три вида, в которых наиболее сильноудерживающие волокна способны связать более 8 г воды на 1 г пищевых волокон [12]. На сорбционные свойства влияет целый ряд факторов, среди которых молекулярная масса, особенности пространственной структуры, наличие и природа функциональных групп. Различные виды пищевых волокон проявляют разную сорбционную ёмкость в отношении разных сорбируемых веществ, в качестве которых могут выступать холестерин, глюкоза, жирные кислоты, тяжёлые металлы и др. [13]. Иногда пищевые волокна проявляют ионообменные свойства, выступая по отношению к сорбируемым ионам в качестве катионитов, амфолитов или анионитов различной силы [14]. Из всех перечисленных свойств одним из наиболее важных для пищевой промышленности является водоудерживающая способность.

Свекловичный жом как вторичный продукт свеклосахарного производства является нативным ассоциатой полигликанов, которые в комплексе либо будучи дифференцированы могут выступать в качестве пищевых волокон. Потенциально, если брать пищевые волокна, все полигликаны свекловичного жома условно можно разделить на две-три большие группы: пектиновые вещества, гемицеллюлозы А, гемицеллюлозы В + целлюлоза. При этом первые две группы представлены водорастворимыми (после извлечения) полигликанами, а третья – набухающими в воде. Традиционно, когда упоминают пищевые волокна свекловичного жома в части их выделения, имеют в виду преимущественно третью группу.

Цель работы – определить свойства первой и второй групп полигликанов и установить взаимосвязь между этими свойствами и молекулярным составом.

В связи с тем что нативные пектиновые вещества представляют собой гетерогенный биополимер, в состав которого входят не только линейные – гомогалактуронановые – участки, состоящие преимущественно из остатков α-D(+) – галактуроновой кислоты, но и разветвлённые, включающие остатки до 17 различных видов нейтральных углеводов [15], мы функционально перегруппировали первые две группы полигликанов свекловичного жома на гомогалактуронаны и арабинаны + галактаны + гемицеллюлозы А, что соответствует разнице между ними по составу функциональных групп.

Таким образом, дифференциация свекловичного жома на пищевые волокна позволяет решить сразу две проблемы: утилизацию отходов пищевой промышленности и производство пищевых волокон с широким спектром свойств для нужд отечественной промышленности.

Материалы и методы

В качестве объектов исследований были использованы сухой негранулированный немелассированный свекловичный жом, произведённый в Воронежской области; образцы гомоферментных препаратов – эндо-(1→4)-рамногалактуронанлиаза (RGL) и гетерологичная эндо-(1→5)-α-арабиназа А (AEP); продукты ступенчатого ферментативного гидролиза. Определение водоудерживающей способности выделенных образцов пищевых волокон проводили по [16]. КР-спектроскопические исследования осуществляли при $\lambda_{возбуждения}$ = 785 нм: продолжительность сканирования спектра – 3 с, количество проходов на один спектр – 50, мощность индуцирующего излучения – 0,5%.

При проведении исследований использовали шейкер лабораторный ELMI SkyLine, программируемый ротатор Multi Bio RS-24 BioSan, центрифугу Eppendorf™ MiniSpin. Анализ молекулярных факторов проводили при помощи рамановского спектрометра/микроскопа RENISHAW InVia с конфокальным микроскопом Leica DM 2500M и CCD детектором. Обработку спектров комбинационного рассеяния (КР-спектров) проводили с использованием программного обеспечения RENISHAW WiRE 3.0 – для первичной обработки и экспортирования спектров, Origin Lab Origin Pro 2015 – для определения базовой линии по алгоритму FitPeaks(Pro) с интерполяцией полиномом пятой степени, нормированием спектров по базовой линии, нахождением пиков по семи локальным точкам с порогом фильтрации по высоте 7%, в том числе скрытых пиков – по второй производной, и Addinsoft XLSTAT 2014 – для обработки по методу главных компонент.

Исследования проводили в два этапа: ступенчатое последовательное ферментативное фрагментирование с выделением препаратов целевых компонентов сырья и оценка аналитических характеристик полученных препаратов.

С целью дифференцированного извлечения полигликанов фрагментирование было проведено в четыре ступени в соответствии с общим алгоритмом, представленным на рисунке 1. Первая ступень включала процесс набухания сырья (этап 1). Навеску сырья массой 20 г крупной фракции помещали в стеклянный стакан, куда затем приливали 400 см^3 бидистиллированной воды температурой 20 °С, тщательно перемешивали и оставляли для набухания на 18 ч. По истечении времени экспозиции смесь фильтровали через бумажный складчатый фильтр «белая лента». Ступень промывки включала два последовательных идентичных технологических этапа (этапы 2 и 3). На каждом остаток с фильтра по окончании предыдущего этапа количественно переносили обратно в стакан небольшими порциями бидистиллированной воды, предварительно нагретой до 40 °С. Далее в стакан вносили такое количество бидистиллированной воды, предварительно нагретой до 40 °С, чтобы суммарное количество бидистиллированной воды составило 500 см^3. Обработку проводили на водяной бане при температуре 40 ±1 °С в течение 30 мин. Смесь фильтровали через складчатый бумажный фильтр «белая лента». Ступень декатионизации также включала два последовательных этапа (этапы 2’ и 3’). На каждом остаток с фильтра по окончании предыдущего этапа количественно переносили обратно в стакан небольшими порциями водного раствора комплексона ЭДТА концентрацией 2,87 г/дм^3, предварительно нагретого до 40 °С. Далее в стакан вносили такое количество водного раствора комплексона, предварительно нагретого до 40 °С, чтобы суммарное количество раствора составило 500 см^3. Обработку проводили на водяной бане при температуре 40 ±1 °С в течение 30 мин. Смесь фильтровали через складчатый бумажный фильтр «белая лента».

Ступень выделения гомогалактуронановых фрагментов протопектинового комплекса (HG) включала от одного (этапы 4 и 4’) до двух (этапы 4a и 5a, 4a’ и 5a’, 4b’ и 5b’) последовательных идентичных технологических этапов.

Остаток с фильтра, полученный на предыдущем этапе, количественно переносили обратно в стакан небольшими порциями бидистиллированной воды общим объёмом 100 см^3, предварительно нагретой до 48 °С. В стакан с осадком приливали 300 см^3 водного раствора гомоферментного препарата RGL концентрацией 612,5 (этапы 4, 4’, 4a, 4a’ и 4b’) и 226,7 мг/дм^3 (этапы 5a, 5a’ и 5b’). Образовавшуюся систему тщательно, но осторожно перемешивали и помещали на водяную баню с заданной температурой 48 ±1 °С. Продолжительность ферментации составляла 120 (этапы RGL-I fix – 4a, 4a’ и 4b’), 405 (этапы RGL-I max – 4 и 4’), 70 (этап RGL-II fix – 5b’) и 130 мин (этапы RGL-II max – 5a и 5a’). По окончании ферментации процесс останавливали, помещая стакан с обработанной системой на кипящую водяную баню на 10 мин, после чего быстро охлаждали до комнатной температуры. Экстракт отфильтровывали через обеззоленный бумажный складчатый фильтр «белая лента». Остаток на фильтре промывали 100 см^3 бидистиллированной воды. Сборный экстракт обрабатывали, как описано далее.

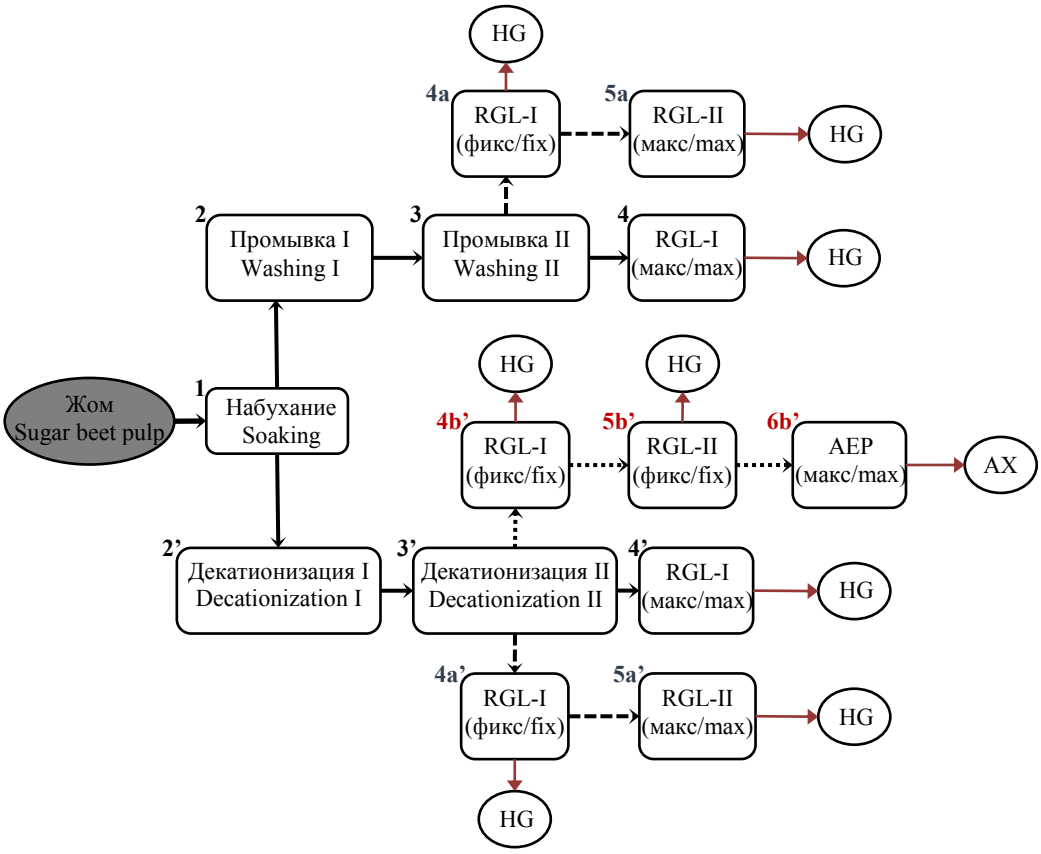


Рисунок 1. Алгоритм дифференцированного извлечения пищевых волокон свекловичного жома
Figure 1. Algorithm for differentiated extraction of food fiber from sugar beet pulp

Ступень выделения растворимых пищевых волокон неуронидной природы (АХ) включала один технологический этап (AEP max – 6b'). Остаток с фильтра, полученный на предыдущем этапе (5b'), количественно переносили обратно в стакан небольшими порциями бидистиллированной воды общим объёмом 100 см^3, предварительно нагретой до 50 °С. В стакан с осадком приливали 300 см^3 водного раствора гомоферментного препарата AEP концентрацией 213,5 мг/дм^3. Образовавшуюся систему тщательно, но осторожно перемешивали и помещали на водяную баню с заданной температурой 50 ±1 °С. Продолжительность ферментации составляла 150 мин. По окончании ферментации процесс останавливали, помещая стакан с обработанной системой на кипящую водяную баню на 10 мин, после чего быстро охлаждали до комнатной температуры. Экстракт отфильтровывали через обеззоленный бумажный складчатый фильтр «белая лента» Остаток на фильтре промывали 100 см^3 бидистиллированной воды. Сборный экстракт обрабатывали, как описано далее.

Каждый собранный экстракт упаривали на ротационном испарителе под вакуумом в 10 раз при температуре 38 °С. Количественно переносили его в стеклянный стакан, куда затем вносили водный раствор ацетатного буфера с pH 4,7–4,8 в количестве 10% от исходного объёма упаренного экстракта. Стакан с содержимым встряхивали на колбовстряхивателе в течение 5 мин, после чего его помещали на кипящую водяную баню, где выдерживали 10 мин. Содержимое стакана фильтровали через обеззоленный бумажный складчатый фильтр «белая лента». Осадок на фильтре промывали 10 мл холодной бидистиллированной воды. Фильтрат охлаждали до температуры 15–16 °С, после чего тонкой струйкой приливали в стеклянный стакан, содержащий двойной объём предварительно охлаждённого до этой же температуры этилового спирта-ректификата крепостью 96%об. Смесь выдерживали 30 мин при комнатной температуре, непрерывно перемешивая, после чего количественно переносили в центрифужную пробирку. Систему центрифугировали при 8 000 g в течение 20 мин. Супернатант декантировали. К осадку прибавляли объём этилового спирта-ректификата крепостью 96%об. объёмом, равным объёму исходного фильтрата. Центрифугирование повторяли при тех же условиях, что и предыдущее. Супернатант декантировали. Осадок из центрифужной пробирки количественно переносили на чашку Петри и сушили в течение 24 ч при температуре не выше 50 °С.

Результаты и обсуждение

При рассмотрении исходного алгоритма как связанного графа, в котором технологические этапы представлены узлами, и рассматривая путь от вершины графа до каждого конкретного узла как независимые подграфы, обладающие своей историей – глубиной переработки, получили два связанных множества подграфов:

$$S = \left[Graph\{1,2,3,4\}; \left\{ Graph\{1,2,3,4a\}; Graph\{1,2,3,4a,5a\} \right\} \right]$$

$$S' = \left[Graph\{1,2',3',4'\}; \left\{ Graph\{1,2',3',4a'\}; Graph\{1,2',3',4a',5a'\} \right\}; \left\{ Graph\{1,2',3',4b'\}; Graph\{1,2',3',4b',5b'\}; Graph\{1,2',3',4b',5b',6b'\} \right\} \right],$$

где S – множество последовательных подграфов при условии присутствия поливалентных катионов; S' – множество подграфов при условии декатионизации; $Graph\{\alpha,\beta,\gamma,...\}$ – подграф технологического этапа; $\alpha,\beta,\gamma,...$ – коэффициенты технологических этапов (координаты подграфа).

Внутри каждого множества присутствует совокупность графов с различной глубиной воздействия на сырье. Глубина воздействия для каждого отдельно взятого графа находится в прямой зависимости от количества координат, его задающих. Значит, сопоставление множеств друг с другом, равно как и графов внутри множества, определяет условия комплексного воздействия указанных факторов на результирующий признак.

Исследования водоудерживающей способности представлены в таблице 1.

Сравнительный анализ водоудерживающей способности продуктов ступенчатого ферментативного фрагментирования показывает, что добавление этапа декатионизации и глубина технологического воздействия положительно влияют на целевой показатель:

$$\left[Graph\{1,2,3,4\} < \left\{ Graph\{1,2,3,4a\} < Graph\{1,2,3,4a,5a\} \right\} \right] < \left[Graph\{1,2',3',4'\} < \left\{ Graph\{1,2',3',4a'\} \approx Graph\{1,2',3',4a',5a'\} \right\} \approx \left\{ Graph\{1,2',3',4b',5b'\} > Graph\{1,2',3',4b',5b',6b'\} \right] \right].$$

Таблица 1.

Водоудерживающая способность полимерных продуктов фрагментации

Table 1.

Water-holding capacity of fragmentation polymeric products

Подраф этапа получения продукта ферментации / Sub-graph of fermentation stage	Экспозиция / Exposure	Водоудерживающая способность / Water-holding capacity, см^3/г / cm^3/g
$Graph\{1, 2, 3, 4\}$	макс/max	10,47
$Graph\{1, 2, 3, 4a\}$	фикс/fix	12,66
$Graph\{1, 2, 3, 4a, 5a\}$	макс/max	15,08
$Graph\{1, 2', 3', 4'\}$	макс/max	15,13
$Graph\{1, 2', 3', 4a'\}$	фикс/fix	18,53
$Graph\{1, 2', 3', 4a', 5a'\}$	макс/max	18,20
$Graph\{1, 2', 3', 4b'\}$	фикс/fix	26,34*
$Graph\{1, 2', 3', 4b', 5b'\}$	фикс/fix	19,12
$Graph\{1, 2', 3', 4b', 5b', 6b'\}$	макс/max	17,13

* Значение несущественно при $\alpha \le 0,05$.

* Data is insufficient at $\alpha \le 0,05$.

Однако данное утверждение справедливо лишь для продуктов одного типа. Например, по целевому показателю подмножество $s = \left\{ Graph\{1,2',3',4a'\}; Graph\{1,2',3',4a',5a'\} \right\}$ множества S' и граф $Graph\{1,2',3',4b',5b'\}$ – элемент того же множества – практически идентичны. Это приводит к выводу о том, что увеличение количества однотипных ступеней в рамках множества S' приводит лишь к увеличению совокупного выхода продукта при малой дисперсии его свойств.

Для установления механизма водоудерживающей способности семейств продуктов, полученных в рамках каждого графа, были получены КР-спектры (рисунок 2). Анализ

спектров показал наличие характерных пиков, специфичных для каждого семейства продуктов. Использование второй производной позволило выявить скрытые пики. В КР-спектрах продуктов семейства гомогалактуронанов присутствовали пики, характерные для пектиновых веществ: 880–900 см$^{-1}$ – пик, отражающий экваториальный аномерный Н, характерный для α-аномеров и α-гликозидов; 850–860 см$^{-1}$ – пики метоксилирования карбоксильных групп и пики ацетилирования R-OH групп в положениях C_3 и C_4 атомов углерода пиранозильного кольца галактуронидных остатков. В КР-спектрах растворимых волокон неуронидной природы были обнаружены пики ксилананов в интервале 475–515 см$^{-1}$.

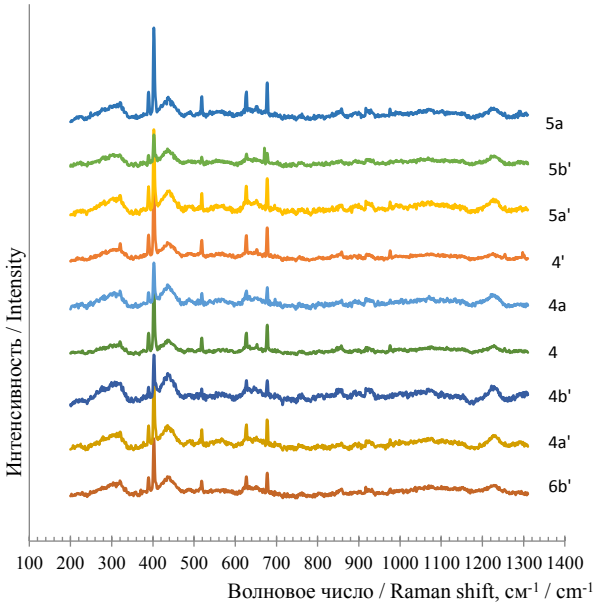


Рисунок 2. КР-спектры полигликанов

Figure 2. Raman spectra of polyglycans

В силу многофакторности молекулярных факторов, обусловливающих водоудерживающую способность, очень трудно было оценить вклад в неё конкретных молекулярных структур, поэтому для решения этой задачи был выбран метод главных компонент Пирсона. В качестве переменных были использованы высоты пиков полученных спектров, а зависимая переменная, под которой понималась величина водоудерживающей способности, была использована в качестве добавочной переменной (ВУС / WHC).

В итоге был получен спектр зависимых и независимых компонентов в координатах первой и второй главных компонент (рисунок 3), смысл которых при интерпретации выделенных пиков следующий:

- первый главный компонент F1 – активность свободных гидроксильных групп углеводного скелета;
- второй главный компонент F2 – активность ксилановой составляющей, трансформации связей между атомами углерода, а также углерода и кислорода в составе углеводных колец.

Анализ результатов показывает, что водоудерживающая способность находится в антагонизме с обоими главными компонентами, хорошо коррелирует с высотой пиков на волновых числах 436, 852, 924 и 1075 см$^{-1}$ и предположительно находится в тесной зависимости от активности атомов кислорода гликозидных связей и активности гидроксильных групп, не принадлежащих углеводному кольцу.

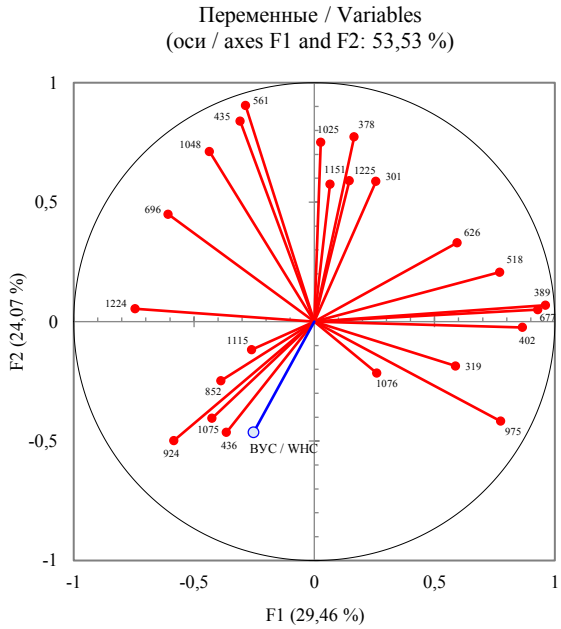


Рисунок 3. Молекулярные факторы, влияющие на водоудерживающую способность

Figure 3. Molecular factors affecting water-holding capacity

Однако используемые главные компоненты описывают лишь 53,5% дисперсии высот пиков, что может говорить об участии в формировании пиков сторонних факторов. Это говорит о необходимости дальнейших исследований.

Таким образом, ключевое влияние на водоудерживающую способность полимерных продуктов ступенчатого ферментативного фрагментирования свекловичного жома оказывает наличие в матриксе клеточной стенки ионов поливалентных металлов, в связи с чем существенную роль играет количество этапов фрагментирования и их продолжительность; в их отсутствие ключевую роль играет природа продуктов фрагментации.

Выводы

В процессе исследований зависимости водоудерживающих свойств полимерных компонентов свекловичного жома от условий дифференцированного ферментативного извлечения было установлено ключевое влияние степени насыщенности матрикса клеточных стенок ионами поливалентных металлов:

- в присутствии катионов в матриксе ключевую роль в формировании водоудерживающей способности играет: количество однотипных стадий ферментирования; их продолжительность;
- в отсутствие катионов водоудерживающая способность зависит только от природы полимерных продуктов ферментирования.

Кроме того, водоудерживающая способность исследованных полигликанов находится в достаточно тесной зависимости от активности атомов кислорода гликозидных связей, а также активности гидроксильных групп, не принадлежащих углеводному кольцу.

ЛИТЕРАТУРА

1 Драчева Л.В., Зайцев Н.К., Сидоренко Ю.И. и др. Пищевые биоволокна – аспект антиоксидантной активности // Хранение и переработка сельхозсырья. 2011. № 5. С. 26–28.

2 Cheng G., Zhang X., Simmons B., Singh S. Theory, practice and prospects of X-ray and neutron scattering for lignocellulosic biomass characterization: towards understanding biomass pretreatment // Energy Environmental Science. 2015. V. 8. P. 436–455. doi: 10.1039/C4EE03147D

3 Дружинин П.В., Новиков Л.Ф., Лысиков Ю.А. Основные виды пищевых волокон. Их структура и свойства. 2010. URL: http://on-line-wellness.com/view_post.php? id=95

4 Lattimer J.M., Haub M.D. Effects of dietary fiber and its components on metabolic health // Nutrients. 2010. V.2. P. 1266–1289. doi: 10.3390/nu2121266

5 Fadaei V., Salehifar M. Some chemical and functional characteristics of dietary fiber from five fiber sources // European Journal of Experimental Biology. 2012. V. 2(3). P.525–528.

6 Singh A., Singh S.N. Dietary fiber content of indian diets // Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research. 2015. V. 8(3). P.58–61.

7 Тутельян В.А., Погожева А.В., Высоцкий В.Г. Роль пищевых волокон в питании человека. М.: Новое тысячелетие, 2008. 325 с.

8 Hong Y., Zi-jun W., Jian X., Ying-jie D. et al. Development of the dietary fiber functional food and studies on its toxicological and physiologic properties // Food and Chemical Toxicology. 2012. V. 50. P. 3367–3374. doi: 10.1016/j.fct.2012.05.011.

9 Goni I., Diaz-Rubio M.E., Perez-Jimenez J., Saura-Calixto F. Towards an updated methodology for measurement of dietary fiber, including associated polyphenols, in food and beverages // Food Research International. 2009. V. 42. P. 840–846. doi: 10.1016/j.foodres.2009.03.010.

10 Daou Ch., Zhang H. Physicochemical properties and antioxidant activities of dietary fiber derived from defatted rice bran // Advance Journal of Food Science and Technology. 2011. V. 3(5). P. 339–347.

11 Rodríguez R., Jimenez A.J., Fernandez-Bolanos J. et al. Dietary fibre from vegetable products as source of functional ingredients // Trends in Food Science & Technology. 2006. V. 17. P. 3–15. doi: 10.1016/j.tifs.2005.10.002.

12 Ozyurt V.H., Otles S. Effect of food processing on the physicochemical properties of dietary fibre // Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria. 2016. V.15(3). P. 233–245. doi: 10.17306/J.AFS.2016.3.23

13 Dhingra D., Michael M., Rajput H., Patil R.T. Dietary fibre in foods: a review // Journal of Food Science and Technology 2012. V. 49(3). P. 255–266. doi: 10.1007/s13197–011–0365–5.

14 Schwellenbach J., Taft F., Villain L., Strube J. Preparation and characterization of high capacity, strong cation-exchange fiber based adsorbents // Journal of Chromatography A. 2016. V. 1447. P. 92–106. doi: 10.1016/j.chroma.2016. 04.019.

15 Vincken J.P., Schols H.A., Oomen R.J., McCann M.C. et al. If homogalacturonan were a side chain of rhamnogalacturonan I. Implications for cell wall architecture // Plant Physiology. 2003. V. 132. P.1781–1789. doi: 10.1104/pp.103.022350.

16 Kurek M.A., Piwinska M., Wyrwisz J. et al. Automated static image analysis as a novel tool in describing the physical properties of dietary fiber // Food Science and Technology (Campinas). 2015. V. 35. № 4. P. 620–625. doi: 10.1590/1678–457X.6720.

REFERENCES

1 Dracheva L.V., Zaitsev N.K., Sidorenko Yu. I. et al. Food biofibers as an aspect of antioxidant activity. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ya* [Storage and Processing of Agricultural Raw Materials]. 2011. vol. 5. pp. 26–28. (in Russian)

2 Cheng G., Zhang X., Simmons B., Singh S. Theory, practice and prospects of X-ray and neutron scattering for lignocellulosic biomass characterization: towards understanding biomass pretreatment. Energy Environmental Science. 2015. vol. 8. pp. 436–455. doi: 10.1039/C4EE03147D

3 Druzhinin P.V, Novikov L.F, Lysikov Yu. A. Osnovniye vidi pischevikh volokhon. Ikh struktura i svoystva [The main types of dietary fiber. Structure and properties]. 2010. Available at: http://on-line-wellness.com/view_post.php? id=95 (in Russian)

4 Lattimer J.M., Haub M.D. Effects of dietary fiber and its components on metabolic health. Nutrients. 2010. vol. 2. pp. 1266–1289. doi: 10.3390/nu2121266

5 Fadaei V., Salehifar M. Some chemical and functional characteristics of dietary fiber from five fiber sources. European Journal of Experimental Biology. 2012. vol. 2(3). pp. 525–528.

6 Singh A., Singh S.N. Dietary fiber content of indian diets. Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research. 2015. vol. 8(3). pp. 58–61.

7 Tutelyan V.A., Pogozheva A.V., Vysotsky V.G. Rolj pischevikh volokon v piteniyi cheloveka [The role of dietary fiber in human nutrition]. Moscow, New millennium, 2008. 325 p. (in Russian)

8 Hong Y., Zi-jun W., Jian X., Ying-jie D. et al. Development of the dietary fiber functional food and studies on its toxicological and physiologic properties. Food and Chemical Toxicology. 2012. vol. 50. pp. 3367–3374. doi: 10.1016/j.fct.2012.05.011.

9 Goni I., Diaz-Rubio M.E., Perez-Jimenez J., Saura-Calixto F. Towards an updated methodology for measurement of dietary fiber, including associated polyphenols, in food and beverages. Food Research International. 2009. vol. 42. pp. 840–846. doi: 10.1016/j.foodres.2009.03.010.

10 Daou Ch., Zhang H. Physicochemical properties and antioxidant activities of dietary fiber derived from defatted rice bran. Advance Journal of Food Science and Technology. 2011. vol. 3(5). pp. 339–347.

11 Rodríguez R., Jimenez A.J., Fernandez-Bolanos J. et al. Dietary fibre from vegetable products as source of functional ingredients. Trends in Food Science & Technology. 2006. vol. 17. pp. 3–15. doi: 10.1016/j.tifs.2005.10.002.

12 Ozyurt V.H., Otles S. Effect of food processing on the physicochemical properties of dietary fibre. Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria. 2016. vol. 15(3). pp. 233–245. doi: 10.17306/J.AFS.2016.3.23

13 Dhingra D., Michael M., Rajput H., Patil R.T. Dietary fibre in foods: a review. Journal of Food Science and Technology 2012. vol. 49(3). pp. 255–266. doi: 10.1007/s13197–011–0365–5.

14 Schwellenbach J., Taft F., Villain L., Strube J. Preparation and characterization of high capacity, strong cation-exchange fiber based adsorbents. Journal of Chromatography A. 2016. vol. 1447. pp. 92–106. doi: 10.1016/j.chroma.2016. 04.019.

15 Vincken J.P., Schols H.A., Oomen R.J., McCann M.C. et al. If homogalacturonan were a side chain of rhamnogalacturonan I. Implications for cell wall architecture. Plant Physiology. 2003. vol. 132. pp.1781–1789. doi: 10.1104/pp.103.022350.

16 Kurek M.A., Piwinska M., Wyrwisz J. et al. Automated static image analysis as a novel tool in describing the physical properties of dietary fiber. Food Science and Technology (Campinas). 2015. vol. 35. no. 4. pp. 620–625. doi: 10.1590/1678–457X.6720.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Владимир В. Кондратенко к.т.н., доцент, зам. директора по научной работе, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» Российской академии наук, ул. Школьная, 78, г. Видное, МО, 142703, Россия, nauka@vniitek.ru

Татьяна Ю. Кондратенко старший научный сотрудник, лаборатория технологии консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» Российской академии наук, ул. Школьная, 78, г. Видное, МО, 142703, Россия, ktatyana-19@mail.ru

Мария А. Царёва старший научный сотрудник, лаборатория технологии консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» Российской академии наук, ул. Школьная, 78, г. Видное, МО, 142703, Россия, inquisitorilohi@mail.ru

Анна Ю. Давыдова младший научный сотрудник, лаборатория технологии консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» Российской академии наук, ул. Школьная, 78, г. Видное, МО, 142703, Россия, ann-nety@mail.ru

Нина М. Алабина к.т.н., ведущий научный работник, лаборатория технологии консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» Российской академии наук, ул. Школьная, 78, г. Видное, МО, 142703, Россия

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 15.09.2018
ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 16.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Vladimir V. Kondratenko Cand. Sci. (Engin.), associate professor, vice director of science work, Russian Research Institute of Canning Technology – branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, Scholnaya Str., 78, Vidnoye, M.R., 142703, Russia, nauka@vniitek.ru

Tatyana Yu. Kondratenko senior researcher, Laboratory of Canning Technology, Russian Research Institute of Canning Technology – branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, Scholnaya Str., 78, Vidnoye, M.R., 142703, Russia, ktatyana-19@mail.ru

Mariya A. Tsaryova senior researcher, Laboratory of Canning Technology, Russian Research Institute of Canning Technology – branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, Scholnaya Str., 78, Vidnoye, M.R., 142703, Russia, inquisitorilohi@mail.ru

Anna Yu. Davidova junior researcher, Laboratory of Canning Technology, Russian Research Institute of Canning Technology – branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, Scholnaya Str., 78, Vidnoye, M.R., 142703, Russia, ann-nety@mail.ru

Nina M. Alabina Cand. Sci. (Engin.), lead researcher, Laboratory of Canning Technology, Russian Research Institute of Canning Technology – branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, Scholnaya Str., 78, Vidnoye, M.R., 142703, Russia

CONTRIBUTION

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.15.2018
ACCEPTED 11.16.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 637.146

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-164-169

Кисломолочный продукт функциональной направленности

Илюза А. Нуриахметова [1] Nuriaxmetova1996@mail.ru
Анна А. Болотова [1] bltanna51@gmail.com
Вероника С. Синдрявкина [1] Sindryavkina@mail.ru
Ирина С. Докучаева [1] 183561@mail.ru

[1] Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия

Аннотация. Получен кисломолочный продукт функциональной направленности на закваске прямого внесения с добавлением порошка яблочных выжимок. Порошок яблочных выжимок, полученный при щадящих условиях обогащает кефирный продукт пектиновыми веществами, витаминами Е, B_2, B_6, железом и калием. Порошок яблочных выжимок получен в вибрационной вакуумной сушилке – мельнице, предусматривающий сушку под вакуумом с совмещением процессов измельчения и интенсивного вибрационного воздействия. Данная технология позволяет получать тонкодисперсный порошок влажностью 4–6%, минимизировать потери ценных компонентов сырья при сушке, поскольку температура процесса составляет не выше 40 ℃. В состав закваски входят термофильные, мезофильные молочнокислые стрептококки,и ацидофильная палочка (*Lactococcus lactis sp lactis, Lactococcus lactis sp. cremoris, Lactococcus lactis sp. lactis biovar. diacetylactis, Saccharomyces unisporus, Streptococcus salivarius sp. thermophiles*). Была рассчитана пищевая ценность кефирного продукта с внесением функционального порошка. Была проведена апробация предложенной закваски прямого внесения К-10,12 для приготовления кефирного продукта с добавлением порошка яблочных выжимок и проведен анализ потребительских свойств в сравнении с традиционным кефиром. Каждую партию закваски анализировали на отсутствие посторонней микрофлоры, путем микроскопирования и наличие газообразующей микрофлоры. Контроль качественных показателей обогащенного кефирного продукта вели в течение всего срока хранения. Органолептическую и физико-химическую оценку качества готового кисломолочного продукта проводили по 10 балльной шкале. Контроль микробиологических показателей кефирного продукта вели в сравнении традиционным кефиром, полученный с использованием закваски, приготовленной на кефирных грибках. Применение заквасок прямого внесения для приготовления кефира решает многие технологические проблемы и делает возможным его производство на небольших предприятиях.

Ключевые слова: кефирный продукт, порошок яблочных выжимок, закваска прямого внесения

Functional dairy product

Ilyuza A. Nuriakhmetova [1] Nuriaxmetova1996@mail.ru
Anna A. Bolotova [1] bltanna51@gmail.com
Veronika S. Sindryavkina [1] Sindryavkina@mail.ru
Irina S. Dokuchaeva [1] 183561@mail.ru

[1] Kazan National Research Technological University, Karl Marx str., 68, Kazan, 420015, Russia

Abstract. A functional orientation fermented milk product on a direct starter with the apple powder addition was obtained. The apple pomace powder obtained under gentle conditions enriches the kefir product with pectin substances, vitamins E, B2, B6, iron and potassium. The apple pomace powder was obtained in a vibration vacuum dryer - a mill, which provides drying under vacuum with the combination of grinding processes and intensive vibrational action. This technology allows obtaining a fine powder with a moisture content of 4–6%, minimizing the raw material valuable components loss during drying, since the process temperature is no higher than 40o C. The starter consists of thermophilic, mesophilic lactic acid Streptococcus,and Lactobacillus acidophilus (Lactococcus lactis sp lactis, Lactococcus lactis sp. cremoris, Lactococcus lactis sp. lactis biovar. diacetylactis, Saccharomyces unisporus, Streptococcus salivarius sp. thermophiles). The nutritional value of kefir product with the functional powder introduction was calculated. An approbation of the proposed K-10,12 starter for the preparation of kefir product with the apple powder addition and the analysis of consumer properties in comparison with traditional kefir were carried out. Each starter batch was analyzed for the absence of extraneous microflora, by microscopic examination and the presence of gas-forming microflora. Quality control indicators of enriched kefir product was being conducted during the entire shelf life. Organoleptic and physico-chemical quality assessment of the finished dairy product was performed on a 10-point scale. The control of microbiological indicators of kefir product was carried out in comparison with traditional kefir, obtained with the use of ordinary kefir fungi. The use of direct starter for kefir production solves many technological problems and makes its manufacture in small enterprises possible..

Keywords: kefir product, apple pomace powder, direct starter

Введение

В настоящее время в России динамично развивается рынок продуктов питания функциональной направленности. Особое место в это группе занимают кисломолочные продукты, обладающие широким спектром оздоровительного действия на организм человека.

Для обогащения кисломолочных продуктов следует использовать те микронутриенты, которые реально находятся в дефиците в организме человека, например, витамины С, группы В, йод, кальций и т. д. Внесение функциональных добавок не должно ухудшать органолептические свойства продукта и снижать усвояемость других макро- и микронутриентов. В то же время количество функциональной добавки должно гарантировать потребителю данного продукта 30–50% от суточной нормы добавляемого микронутриента [1, 2].

Современные заводы по производству соков нуждаются в технологиях комплексной

Для цитирования
Нуриахметова И.А., Болотова А.А., Синдрявкина В.С., Докучаева И.С. Кисломолочный продукт функциональной направленности // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 164–169. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-164-169

For citation
Nuriakhmetova I.A., Bolotova A.A., Sindryavkina V.S., Dokuchaeva I.S. Functional dairy product. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 164–169. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-164-169

переработки сырья. Яблочные выжимки, образующиеся в большом количестве во время производства сока, сохраняют все полезные свойства исходных плодов: клетчатку, пектин, органические кислоты, калий, натрий, кальций, магний, фосфор, железо, йод, а также витамины А, B_2, B_6, и др., яблочную, винную и лимонную кислоты. В комплексе с дубильными веществами эти кислоты останавливают процессы гниения и брожения в кишечнике. Яблочный пектин, содержащийся в яблочных выжимках, представляет наибольшую ценность, поскольку выполняет функцию детоксикации организма, соединяясь в кишечнике с холестерином, бактериальными токсинами, вредными продуктами, солями ртути, свинца, стронция, кобальта, выводит их из организма.

Материалы и методы

В качестве закваски для производства кисломолочного продукта использовали закваску прямого внесения. Данная закваска широко используется в пищевой промышленности для приготовления кисломолочных напитков. В состав закваски входят термофильные, мезофильные молочнокислые стрептококки и ацидофильная палочка *(Lactococcus lactis sp lactis, Lactococcus lactis sp. cremoris, Lactococcus lactis sp. lactis biovar. diacetylactis, Saccharomyces unisporus, Streptococcus salivarius sp. thermophiles)*. Штаммы заквасок прямого внесения не являются генетически модифицированными.

В качестве функциональной добавки использовали порошок из яблочных выжимок, высушенных при температуре не выше 40 °С.

Основные органолептические, физико-химические показатели кисломолочного продукта определяли стандартными и общепринятыми в молочной отрасли методами.

Результаты и обсуждение

Содержание пектиновых веществ в яблочных выжимках в среднем составляет 10,5% [3]. Предложено добавлять яблочные выжимки в виде порошка, поскольку они содержат незначительный объем, массу, высокую концентрацию пищевых веществ.

Порошок яблочных выжимок получен в вибрационной вакуумной сушилке-мельнице, предусматривающей сушку под вакуумом с совмещением процессов измельчения и интенсивного вибрационного воздействия [4, 5]. Вакуумирование снижает температуру кипения жидкости, что способствует максимальному сохранению состава исходного сырья. Интенсивное перемешивание ускоряет теплообмен между греющей поверхностью корпуса и загрузкой. Воздействие мелющими телами на частицы исходного сырья в вибрационном аппарате позволяет постоянно обновлять влажную поверхность за счет измельчения перерабатываемого сырья, выдавливания влаги из них при ударе и истирающем действии мелющих тел и обеспечивать, тем самым, максимальную постоянную скорость сушки. Данная технология позволяет получать тонкодисперсный порошок влажностью 4–6%, минимизировать потери ценных компонентов сырья при сушке, поскольку температура процесса составляет не выше 40 °С.

Введение порошка яблочных выжимок в кисломолочный продукт происходит на стадии созревания. Порошок яблочных выжимок низкой влажности с целью снижения общей обсемененности вносили в продукт в количестве 3% после образования кисломолочного сгустка [6].

Внесение комплексной функциональной добавки в кисломолочный продукт позволяет повысить его пищевую ценность (таблица 1).

Таблица 1.

Результаты расчета пищевой ценности кисломолочного продукта, обогащенного порошком яблочных выжимок

Table 1.

The results of the calculation of the nutritional value of fermented milk product, enriched with powder of apple marc

Наименование нутриента Nutrient name	Масса в 200 г Weight 200 g	Суточная потребность, % Daily need, %	% от суточной потребности % of daily need
Пищевые волокна, г | Dietary fiber, g	0,9	20,0	4,5
Пектиновые вещества, мг Pectic substances mg	0,6	15,0	4,2
Витамин Е, мг | Vitamin E, mg	1,6	15,7	10,2
Витамин В2, мг | Vitamin B2, mg	0,2	1,0	20
Витамин В6, мг | Vitamin B6, mg	0,6	1,4	43,0
Железо, мг | Iron, mg	4,0	10,0	40,0
Медь, мг | Copper, mg	0,6	1,0	60,2
Калий, мг | Potassium, mg	1280,0	4705,9	27,2

Была проведена апробация предложенной закваски прямого внесения К–10,12 для приготовления кефирного продукта с добавлением порошка яблочных выжимок и анализ потребительских свойств в сравнении с традиционным кефиром [7]. Для приготовления кефира использовали фермерское молоко жирностью 3–4%. Нормируемые показатели качества были определены по известным методикам (таблица 2). Каждую партию закваски анализировали на отсутствие посторонней микрофлоры путем микроскопирования и наличие газообразующей микрофлоры (таблица 3; рисунок 1, 2).

Таблица 2.

Результаты физико-химического анализа исходного молока

Table 2.

The results of physico-chemical analysis of the original milk

Физико-химические показатели Physical and chemical indicators		Массовая доля белка в молоке, % Mass fraction of protein in milk, %		
Кислотность, °Т Acidity, °T	Плотность, °А Density, °A	Формольный метод Formol method	Рефрактометрический метод Refractometric method	Декларируемая производителем Manufacturer declared
18,80 ± 0,28	31,00	3,20 ± 0,11	3,20 ± 0,05	≥3

Таблица 3.

Физико-химические показатели закваски на кефирных грибках и закваски прямого внесения

Table 3.

Physical and chemical indicators of yeast on kefir fungi and starter direct application

Наименование Name	Кислотность, °Т Acidity, °T	Наличие газообразующей микрофлоры The presence of gassing microflora	
		CO_2	ацетоина и диацетила acetoin and diacetyl
Закваска на кефирных грибках | Sourdough on kefir fungi	105 ± 0,7	+	+
Закваска на чистых культурах | Sourdough on pure cultures	102 ± 0,8	+	+

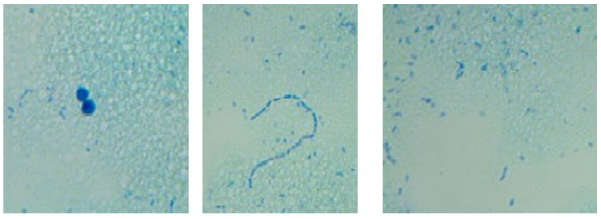


Рисунок 1. Результаты микроскопирования кефирной закваски на кефирных грибках

Figure 1. Microscopic results of kefir starter culture on kefir fungi

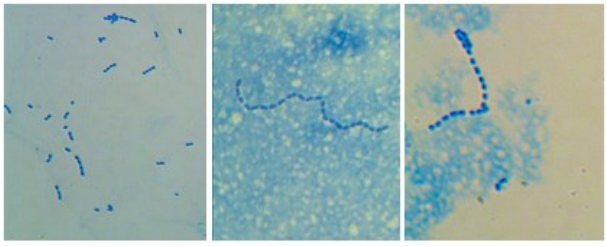


Рисунок 2. Результаты микроскопирования закваски на чистых культурах

Figure 2. Microscopic Ferment Results in Pure Cultures

Из представленных результатов видно, что в закваске на чистых культурах присутствуют кокки и палочки, но отсутствуют дрожжи. В закваске на кефирных грибках присутствуют кокки, палочки и дрожжи. Во всех образцах отсутствует посторонняя микрофлора.

Контроль качественных показателей обогащенного кефирного продукта вели в течение всего срока хранения (5 сут). Сравнительный анализ физико-химических показателей кисломолочных продуктов приведен в таблице 4.

Полученный кефирный продукт не уступает по качественным показателям традиционному кефиру. Кислотность продукта на конец срока не превысила нормативного показателя кислотности для кефира [5].

Вязкость продукта, которую определяли по скорости истечения, оставалась стабильной в течение 5 сут и превышала средний показатель вязкости в контроле в среднем на 18%.

Таблица 4.

Сравнительный анализ физико-химических показателей кефира и обогащенного кефирного продукта в течение всего срока хранения

Table 4.

Comparative analysis of physico-chemical parameters of kefir and enriched kefir product during the entire shelf life

Наименование показателя Name of the indicator	Кефир на кефирных грибках Kefir on kefir fungi			Кефирный продукт Kefir product		
	1-е сут 1 day	3-и сут 3 days	5-е сут 5 day	1-е сут 1 day	3-и сут 3 days	5-е сут 5 day
Кислотность °Т | Acidity ° T	82,40±0,44	81,40±0,46	80,50±0,67	88,40±0,97	88,50±0,25	89,50±0,48
Скорость истечения, с | Flow rate, s	11,60±0,21	11,60±0,19	11,70±0,15	19,70±0,23	19,80±0,6	20,03±0,48
Степень отделение сыворотки, % | The degree of separation of serum, %	13,0	15	15	10	-	-
Наличие диацетила | Presence of diacetyl	+	+	+	+	+	+
Наличие газообразующей микрофлоры | The presence of gassing microflora	+	+	+	+	+	+

Кефирный продукт показал высокую устойчивость к механическому воздействию. При центрифугировании в течение 10 мин при скорости 1000 об/мин не наблюдалось отделения сыворотки.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности применения закваски прямого внесения К – 10,12 для производства кефирного продукта функциональной направленности не только термостатным, но и резервуарным способом.

Органолептическую и физико-химическую оценку качества готового кисломолочного продукта проводили по 10-балльной шкале (таблица 5, рисунок 3).

Таблица 5.

Органолептическая и физико-химическая оценка качества разработанного кисломолочного продукта по 10-балльной системе*

Table 5.

Organoleptic and physico-chemical quality assessment of the developed fermented milk product using a 10-point system*

Наименование Name	Кефир Kefir	Кефирный продукт Kefir product
Кислотность, °Т | Acidity, ° T	10	10
Скорость истечения, с | Flow rate, s	8	10
Степень отделения сыворотки, % | The degree of separation of serum, %	7	10
Наличие диацетила и газообразующей микрофлоры The presence of diacetyl and gaseous microflora	10	10
Вкус | Taste	10	9
Результаты микроскопирования | Microscopic results	10	8

*Оценка в баллах. 10 – отличное, 9–8 – очень хорошее, 7 – хорошее, 6 – выше среднего, 5 – среднее, 4 – ниже среднего, 3 – плохое (приемлемое), 2 – плохое (неприемлемое), 1 – очень плохое (совершенно неприемлемое)

*Score in points. 10 – Excellent, 9–8 – Very good, 7 – Good, 6 – Above average, 5 – Average, 4 – Below average, 3 – Bad (Acceptable), 2 – Bad (Inappropriate), 1 – Very bad (Completely unacceptable)

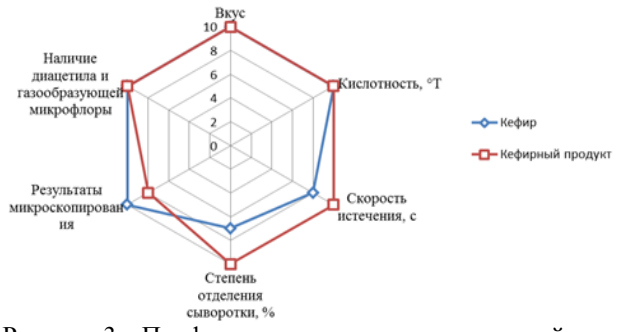


Рисунок 3. Профилограмма органолептической и физико-химической оценки кисломолочных продуктов

Figure 3. Profilogram of organoleptic and physico-chemical assessment of fermented milk products

Из профилограммы органолептической и физико-химической оценки видно, что кефирный продукт превосходит традиционный кефир.

Контроль микробиологических показателей кефирного продукта вели в сравнении традиционным кефиром, полученным с использованием закваски, приготовленной на кефирных грибках. Каждую партию кисломолочного напитка микроскопировали на отсутствие посторонней микрофлоры (рисунок 4, 5).

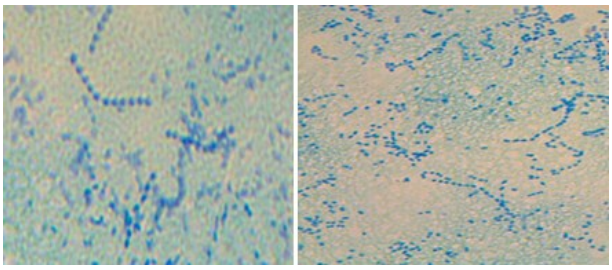


Рисунок 4. Результаты микроскопирования кефирного продукта на закваске прямого внесения

Figure 4. The results of the microscope kefir product on sourdough direct making

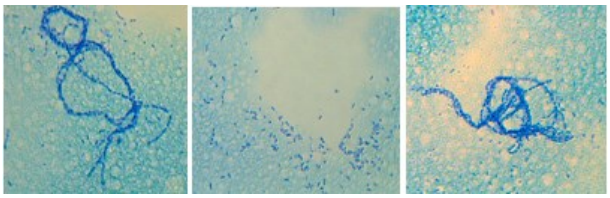


Рисунок 5. Результаты микроскопирования кефира на кефирных грибках

Figure 5. Results of kefir microscopy on kefir fungi

Из представленных результатов видно, что в кефире на кефирных грибках и в кефирном продукте присутствуют кокки, палочки и отсутствует посторонняя микрофлора.

Заключение

Применение закваски прямого внесения для производства кефирного продукта позволяет получить продукт стабильного качества, уменьшить риск микробиологической контаминации, а порошок яблочных выжимок обогатит его пектиновыми веществами, витаминами Е, B_2, B_6, железом и калием. В лабораторных условиях была проведена пробная варка кисломолочного продукта и анализ качественных показателей в сравнении с традиционным кефиром в течение всего срока хранения. Кислотность кефирного продукта функциональной направленности на конец срока хранения не превысила нормативного показателя. По реологическим показателям он не уступал традиционному кефиру, а по устойчивости к механическому воздействию превосходил последний, поэтому может производиться резервуарным способом.

ЛИТЕРАТУРА

1 Gorlov I.F., Giro T.M., Sitnikova O.I., Slozhenkina M.I. et al. New functional products with chickpeas: reception, functional properties // American Journal of Food Technology. 2016. V. 11. № 6. P. 273–281.

2 Gorelik O.V., Shatskikh Ye., Rebezov M., Kanareikina S. et al. Study of chemical and mineral composition of new sour milk bio-product with sapropel powder // Annual Research & Review in Biology. 2017. V. 18. № 4. P. 1–5.

3 Родионова Л.Я., Донченко Л.В., Соболь И.В., Степовой А.В. Расширение классификации пектиносодержащего сырья // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 52. С. 199-206.

4 Пат. № 141088, RU, B02C 19/16 (2006.01). Вибрационная сушилка-мельница / Дубкова Н.З., Галиакберов З.К., Дубков И.А., Николаев А.Н. № 2013138202/13; Заявл. 2013138202; Опубл. 27.05.2014, Бюлл. №15.

5 Дубкова Н.З. Влияние амплитуды колебаний вибрационного аппарата на затраты мощности // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 19. С.274–276.

6 Голубева Л.В., Долматова О.И. Технико-технологические основы производства молока и молочных продуктов (теория и практика): учебное пособие. Воронеж: ВГУИТ, 2017. 123 с.

7 Голубева Л.В., Долматова О.И. Методы исследования сырья и продуктов животного происхождения: экспертиза молока и молочных продуктов: учебное пособие. Воронеж: ВГУИТ, 2016. 64 с.

REFERENCES

1 Gorlov I.F., Giro T.M., Sitnikova O.I., Slozhenkina M.I. et al. New functional products with chickpeas: reception, functional properties. American Journal of Food Technology. 2016. vol. 11. no. 6. pp. 273–281.

2 Gorelik O.V., Shatskikh Ye., Rebezov M., Kanareikina S. et al. Study of chemical and mineral composition of new sour milk bio-product with sapropel powder. Annual Research & Review in Biology. 2017. vol. 18. no. 4. pp. 1–5.

3 Rodionova L.Ya., Donchenko L.V., Sobol' I.V., Stepovoj A.V. Expansion of the classification of pectin-containing raw materials. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Kuban State Agrarian University]. 2015. no. 52. pp. 199–206. (in Russian)

4 Dubkova N.Z., Galiakberov Z.K., Dubkov I.A., Nikolaev A.N. Vibracionnaya sushilka-mel'nica [Vibration dryer-mill]. Patent RF, no. 141088, 2014.

5 Dubkova N.Z. Influence of vibration vibration amplitude on power costs. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Vestnik of Kazan Technological University]. 2014. vol. 17. no. 19. pp. 274–276. (in Russian)

6 Golubeva L.V., Dolmatova O.I. Tekhniko-tekhnologicheskie osnovy proizvodstva moloka i molochnyh produktov (teoriya i praktika) [Technical and technological bases of milk and dairy products production (theory and practice)]. Voronezh, VSUIT, 2017. 123 p. (in Russian)

7 Golubeva L.V., Dolmatova O.I. Metody issledovaniya syr'ya i produktov zhivotnogo proiskhozhdeniya: ehkspertiza moloka i molochnyh produktov [Methods of research of raw materials and products of animal origin: examination of milk and dairy products]. Voronezh, VSUIT, 2016. 64 p. (in Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Илюза А. Нуриахметова магистрант, кафедра оборудование пищевых предприятий, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия, Nuriaxmetova1996@mail.ru

Анна А. Болотова магистрант, кафедра оборудование пищевых предприятий, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия, bltanna51@gmail.com

Вероника С. Синдрявкина магистрант, кафедра оборудование пищевых предприятий, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия, Sindryavkina@mail.ru

Ирина С. Докучаева к.х.н., доцент, кафедра оборудования пищевых производств, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия, 183561@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Илюза А. Нуриахметова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Анна А. Болотова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Вероника С. Синдрявкина обзор литературных источников по исследуемой проблеме, оформление документов

Ирина С. Докучаева консультация в ходе исследования

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 23.10.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 15.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Ilyuza A. Nuriakhmetova master student, Department of food enterprises equipment, Kazan National Research Technological University, Karl Marx str., 68, Kazan, 420015, Russia, Nuriaxmetova1996@mail.ru

Anna A. Bolotova master student, Department of food enterprises equipment, Kazan National Research Technological University, Karl Marx str., 68, Kazan, 420015, Russia, bltanna51@gmail.com

Veronika S. Sindryavkina master student, Food enterprises equipment department, Kazan National Research Technological University, Karl Marx str., 68, Kazan, 420015, Russia, Sindryavkina@mail.ru

Irina S. Dokuchaeva Cand. Sci. (Chem.), associate professor, Food enterprises equipment department, Kazan National Research Technological University, Karl Marx str., 68, Kazan, 420015, Russia, 183561@mail.ru

CONTRIBUTION

Ilyuza A. Nuriakhmetova wrote the manuscript, corrected it before submission to the editor and is responsible for plagiarism

Anna A. Bolotova a review of the literature on the problem under study, conducted an experiment, carried out calculations

Veronika S. Sindryavkina review of the literature on the studied problem, paperwork

Irina S. Dokuchaeva consultation during the study

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.23.2018

ACCEPTED 11.15.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 664

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-170-176

Возможность применение гречихи в технологии ферментированного солода

Геннадий В. Агафонов [1] kafedra_tbisp@mail.ru
Алла Е. Чусова [1] hycovai@mail.ru
Наталия С. Ковальчук [1] natalibai13@gmail.ru
Наталья В. Зуева [1] nataspirt30@yandex.ru

[1] Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Традиционным сырьем для производства ферментированного солода является рожь. В работе рассмотрено применение в качестве нетрадиционного сырья зерен гречихи. Материалами исследования являлись рожь сорта Восток 2 и гречиха сорта Дикуль. Амилолитическую способность (АС) солода определяли колориметрическим йодометрическим методом, осахаривающую способность (ОСп) – поляриметрическим методом, протеолитическую (ПС) – рефрактометрическим методом (по Петрову), влажность исследуемых образцов определяли на влагомере термографическом инфракрасном FD-610. Экстрактивность, кислотность и цветность ферментированного солода определяли согласно ГОСТу Р 52061-2003. Установили, что АС, ОСп и ПС гречишного солода соответственно на 5,8 % выше, на 42,9 % ниже и на 11,6 % выше, чем у ржаного солода. Сравнительная характеристика ферментированного гречишного и ржаного солодов показала, что происходит уменьшение массовой доли экстракта и увеличение цвета гречишного солода. Это происходит за счет гидролиза высокомолекулярных соединений – углеводов, белков до сахаров и аминокислот соответственно, за счёт протекания реакций меланоидинообразования, в результате которых улучшаются цвет, вкус и аромат солода. Получили, что применение гречихи в технологии ферментированного солода возможно, более того, является безглютеновым сырьём из-за низкого содержания глютеновой фракции белка и может быть применена для широкого круга потребителей, в том числе страдающих глютеновой непереносимостью. Но для повышения его экстрактивности желательно использовать ферментные препараты на стадии солодоращения. Новизна предлагаемого технического решения подтверждена патентом РФ на изобретение № 2603268 «Способ производства ферментированного гречишного солода».

Ключевые слова: гречишный солод, ферментный препарат Церемикс 6XMG, овес, амилолитическая и протеолитическую способность, ферментированный солод

The possibility of buckwheat application in the fermented malt technology

Gennadij V. Agafonov [1] kafedra_tbisp@mail.ru
Alla E. Chusova [1] hycovai@mail.ru
Natalya S. Kovalchuk [1] natalibai13@gmail.ru
Natalya V. Zuyeva [1] nataspirt30@yandex.ru

[1] Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Rye is the traditional raw material for the fermented malt production. The article considers buckwheat grains application as an unconventional raw material. The research materials were rye of Vostok 2 breed and buckwheat of Dikul breed. Amylolytic capacity (AC) of malt was determined by colorimetric iodometric method, saccharification capacity (SC) - by polarimetric method, proteolytic (PC) - by refractometric method (according to Petrov); the humidity of the samples was determined on a thermographic infrared moisture meter FD 610. The extract, acidity and color of the fermented malt was determined according to GOST R 52061-2003. It was found that AC, SC and PC of buckwheat malt are 5.8% higher, 42.9% lower and 11.6% higher respectively than those of rye malt. Comparative characteristics of fermented buckwheat and rye malts showed that there is a decrease in the mass fraction of the extract and an increase in the color of buckwheat malt. This happens due to the hydrolysis of high-molecular compounds - carbohydrates, proteins to sugars and amino acids, respectively, due to the reactions of melanoid formation, which result in improved color, taste and aroma of malt. It was found that the use of buckwheat in fermented malt technology is possible, moreover, it is a gluten-free raw material due to the low content of the gluten fraction of the protein and can be applied to a wide range of consumers, including those suffering from gluten intolerance. But to increase its extractiveness, it is desirable to use enzyme preparations at the malting stage. The novelty of the proposed technical solution is confirmed by the RF patent for invention No. 2603268 "Method for the production of fermented buckwheat malt".

Keywords: buckwheat malt, enzyme preparation Ceramix 6XMG, oat, amylolytic and proteolytic ability, fermented buckwheat malt

Для цитирования
Агафонов Г.В., Чусова А.Е., Ковальчук Н.С., Зуева Н.В. Возможность применение гречихи в технологии ферментированного солода // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 170–176. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-170-176

For citation
Agafonov G.V., Chusova A.E., Kovalchuk N.S., Zuyeva N.V. The possibility of buckwheat application in the fermented malt technology. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 170–176. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-170-176

Введение

Согласно «Распоряжению Правительства Российской Федерации от 25 октября 2010 г. No 1873-р г. Москва», утвержденному председателем правительства Российской Федерации В.В. Путиным, и «Распоряжению Правительства РФ от 30.06.2012 № 1134-р г. Москва», утвержденному председателем правительства Российской Федерации Д.А. Медведевым [3, 4], были приняты основы государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года. Основными задачи в области здорового питания являются: развитие отечественного производства пищевых продуктов; обогащение незаменимыми компонентами отечественных продуктов питания, в том числе детского и специализированного; расширение ассортимента пищевых продуктов функционального назначения и диетических (лечебных и профилактических).

В результате решения поставленных задач в области здорового питания планируется:

- рост объема производства витаминизированных и минерализованных продуктов массового потребления;
- заполнение отечественными производителями 80% рынка специализированных продуктов для детского питания, в том числе диетического (лечебного и профилактического);
- сокращение заболеваемости среди детей и молодежи, связанной с питанием (анемия, недостаточность питания, ожирение, болезни органов пищеварения), до 10%. Одним из таких заболевании органов пищеварения является целиакия (глютеновая энтеропатия). Целиакия – иммунная непереносимость проламинов пшеницы, ржи, ячменя [3, 4].

Единственным терапевтическим средством для лиц, страдающих целиакией, является постоянное соблюдение безглютеновой диеты.

Традиционным сырьем для производства ферментированного солода является рожь.

Зерна гречихи по химическому составу близки к зернам ржи (таблица 1), но в то же время отличаются химическим составом частей зерна (таблица 2).

Фракционный состав белка зерна гречихи представлен в основном глобулинами и альбуминами, при почти полном отсутствии проламинов и глютелинов. В то время как в составе белка ржи, наоборот, преобладают проламины и глютелины при низком содержании альбуминов и глобулинов (таблица 3) [8].

Таблица 1.

Химический состав зерна гречихи и ржи (в%) [8]

Table 1.

Chemical composition of grain of a buckwheat and rye (%) [8]

Показатель Indicator	Зерно | Grain	
	Гречиха Buckwheat	Рожь Rye
Вода | Water	14	14
Белок | Protein	11,6	9,9
Липиды | Lipid	2,3	1,6
Углеводы Carbohydrates	59,5	70,9
Клетчатка Cellulose	10,8	2,9
Зольность | Ash	1,8	1,7

Таблица 2.

Соотношение частей зерна гречихи и ржи (в %)

Table 2.

Ratio of buckwheat and rye grain parts (%)

Часть зерна Part of Grain	Зерно | Grain	
	Гречиха Buckwheat	Рожь Rye
Плодовая оболочка Fruit shell	17–25	5,0–7,0
Семенная оболочка Seed coat	1,5–2,0	1,9–6,0
Алейроновый слой Aleurone layer	4,0–5,0	11,0–12,0
Эндосперм | Endosperm	55,0–65,0	73,0–77,0
Зародыш | Embryo	10,0–15,0	3,5–3,7

Таблица 3.

Фракционный состав белка зерна гречихи и ржи (в % от общего содержания белка)

Table 3.

Fractional composition of buckwheat and rye grain protein (in % of total protein content)

Фракция Fraction	Зерно | Grain	
	Гречиха Buckwheat	Рожь Rye
Альбумины | Albumins	21–24	0,4–0,5
Глобулины | Globulins	42–45	1,7–2,2
Проламины | Prolamins	1,1–1,2	37,2–41,6
Глютелины | Glutelins	10–12	26,6–41,9

Качественные показатели зерен гречихи уступают качественным показателям зерен ржи. Абсолютная масса гречихи ниже абсолютной массы ржи на 27,8%, а способность прорастания практически имеет один уровень с зерном ржи. Содержание крахмала у гречихи ниже на 10,2% содержания крахмала у ржи. Рожь превышает гречиху на 10% по содержанию крахмала, по экстрактивности – на 12,9%, по содержанию белка – на 20% (таблица 4) [8].

Таблица 4.

Качественные показатели зерна [8]

Table 4.

Grain quality indicators [8]

Показатель Indicator	Гречиха Buckwheat	Рожь Rye
Абсолютная масса 1000 зерен, г Absolute weight of 1000 grains, g	23,3	32,3
Содержание белка, % СВ Protein content, % DM	12,0	15,0
Содержание крахмала, % СВ The starch content, % more than	52,5	58,5
Экстрактивность, в % на ВСВ Extractivity, in % on WSS	67,5	77,5
Способность прорастания, % Germination ability, %	92,8	94,3

Такое сырье, как гречиха, может быть использовано для расширения ассортимента отечественного рынка специализированных продуктов (в том числе лечебного и профилактического характера) для категории потребителей, страдающих глютеновой энтеропатией. Также белок зерна гречихи отличается повышенной биологической ценностью. Поэтому разработка технологии производства ферментированного солода из безглютенового сырья является актуальной и имеет научное и практическое значение.

Цель работы – разработка технологии ферментированного солода из зёрен гречихи с целью внедрения его в пивоваренной, безалкогольной, кондитерской, солодовенной, хлебобулочной и других подотраслях пищевой промышленности, а также при разработке продуктов для специального питания.

Техническая задача работы – разработка способа производства ферментированного гречишного солода, позволяющего повысить качество солода за счёт увеличения его пищевой и биологической ценности вследствие увеличения относительной влажности гречихи при замачивании и стадии ферментации, где при оптимальных условиях под действием ферментов идут процессы гидролиза высокомолекулярных соединений – углеводов, белков до сахаров и аминокислот, за счёт которых протекают реакции меланоидинообразования, в результате улучшается цвет, вкус и аромат солода; изменение температурных режимов сушки, а также её продолжительности; получение продукта с профилактическими свойствами.

Материалы и методы

Материалами исследования являлись рожь сорта Восток 2 и гречиха сорта Дикуль. Амилолитическую способность (АС) солода определяли колориметрическим йодометрическим методом, осахаривающую способность ($ОС_п$) – поляриметрическим методом, протеолитическую (ПС) – рефрактометрическим методом (по Петрову), влажность исследуемых образцов определяли на влагомере термографическом инфракрасном FD-610. Экстрактивность, кислотность и цветность ферментированного солода определяли согласно ГОСТ Р 52061-2003.

Замачивание гречихи и ржи проводили воздушно-водяным способом при температуре 15–16 °С в водопроводной воде до относительной влажности 46–50%, причём воздушные и водяные паузы чередовали каждые 4 ч. Проращивание проводили в течение 6–7 сут при температуре 15–16 °С до достижения максимальной активности гидролитических ферментов амилолитического и протеолитического действия. Подвергали ферментации, для чего оставляли в покое на 12–24 ч до тех пор, пока температура в среднем слое не повысилась до 50–55 °С, ворошили и продували кондиционированным воздухом с такой интенсивностью, чтобы влажность солода была 50–52%, а температура во всех слоях 67–68 °С в течение 5 сут. Сушку проводили с постепенным увеличением температуры от 67–68 °С до 74–75 °С в течение 16 ч до достижения величины влажности 5–6% [6].

Результаты и обсуждение

При проращивании у гречишного солода максимальная амилолитическая способность (АС) достигается на 4-е сут ращения и составляет 20,7 ед./г. Это на 5,8% больше, чем у зерна ржи. На 5-е сут отмечается спад амилолитической активности у ржаного солода на 1,1%, у гречишного – на 2,4% (рисунок 1).

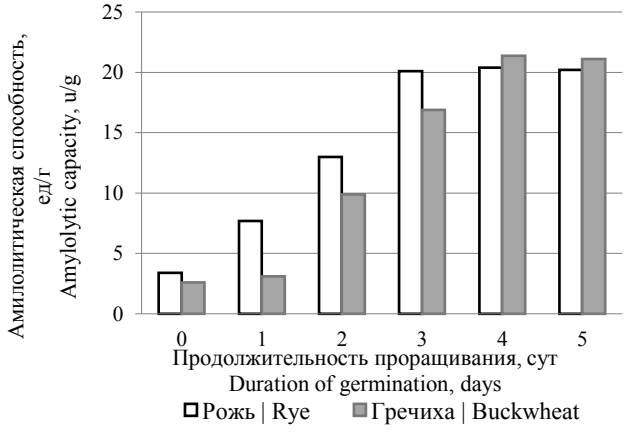


Рисунок 1. Изменение АС ржаного и гречишного солода от продолжительности проращивания

Figure 1. AA change of rye and buckwheat malt from the duration of germination

Максимальное накопление осахаривающей активности у образцов наблюдается в 3-и сут проращивания и достигает значений в зерне у гречишного – 3,0 ед./г, у ржаного солода – 5,3 ед./г. По сравнению с гречихой осахаривающая способность традиционной культуры выше на 42,9%. На 4-е сут ОСп гречишного солода незначительно снижается на 3,3%, у ржаного солода уменьшается на 2,0% (рисунок 2) [5].

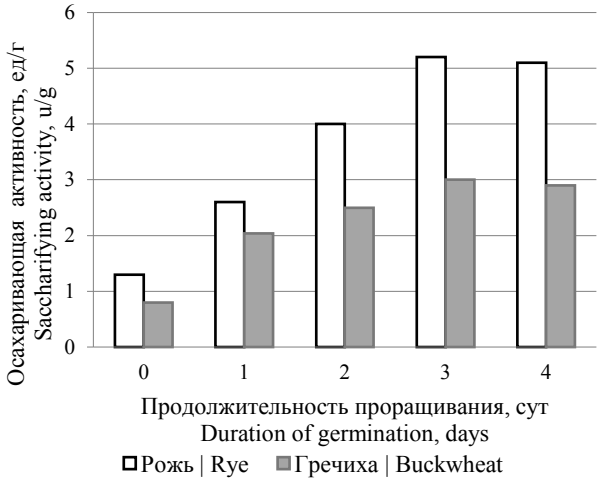


Рисунок 2. Величина ОСп свежепроросших солодов

Figure 2. The value OSp of fresh-grown malts

Максимальные значения протеолитической активности солодов были достигнуты на 3-и сут ращения: у гречишного – 25,9 ед./г, у ржаного – 22,9 ед./г. По сравнению с зерном гречихи протеолитическая активность ржи ниже на 11,6%. На 4-у сут ращения активность незначительно падает у ржаного снижается на 4,9%, у гречишного – на 2,5% (рисунок 3) [5].

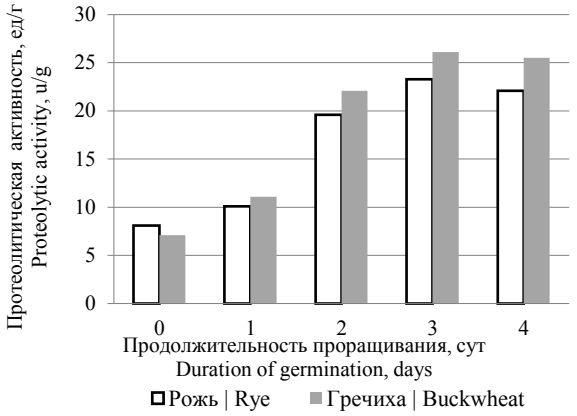


Рисунок 3. Величина протеолитической активности свежепроросших солодов

Figure 3. The value of proteolytic activity of fresh-grown malts

Свежепроросший солод ферментировали с целью накопления в нем с участием собственных энзимов максимального количества низкомолекулярных углеводов, аминокислот, пептидов, которые вступают в реакцию меланоидинообразования с накоплением вкусовых, ароматических и красящих веществ для получения ферментированного продукта.

Амилолитическая активность солода в ходе ферментации продолжает расти и достигает своего максимума: для ржаного солода 22,5 ед./г, для гречишного солода – 24,9 ед./г. После достижения максимума активность идет на спад. К началу сушки значение АС гречишного солода составляет 22,9 ед./г, у ржаного солода – 21,2 ед./г. При сушке снижение активности продолжается. В готовом солоде по сравнению с солодом в начале ферментации АС снизилась у ржаного на 56,2%, у гречишного солода – на 57,2% (рисунок 4) [5].

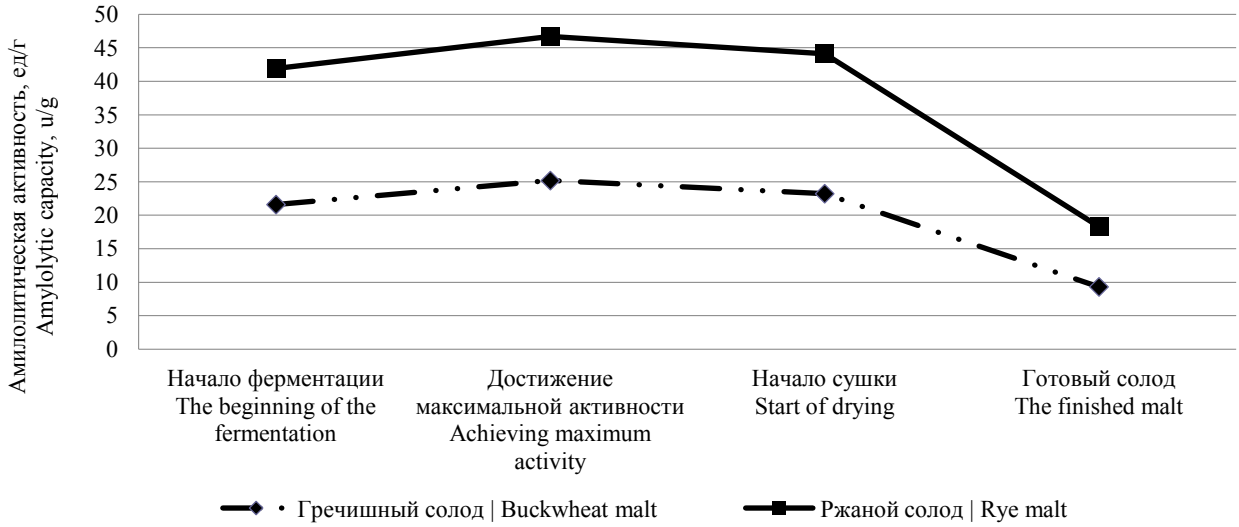


Рисунок 4. Изменение амилолитической активности в процессе ферментации и сушки солода

Figure 4. Changes in amylolytic activity during fermentation and drying of malt

Характер поведения осахаривающей активности аналогичен амилолитической активности. В начале ферментации осахаривающая активность достигает наибольшего значения: для гречишного – 3,3 ед./г, для ржаного – 5,5 ед./г. После первой стадии ферментации значение ОСп начинает снижаться и к началу сушки оно достигает 5,0 ед./г для ржаного и 2,9 ед./г – для гречишного солода. Во время сушки наблюдается снижение ОСп и в готовом солоде составляет: у гречишного 1,3 ед./г и у ржаного солода 2,5 ед./г. За период процессов термообработки солода осахаривающая способность снизилась для ржаного на 55,2% и для гречишного солода – на 63,0% (рисунок 5).

Значение протеолитической активности идет на спад на всем протяжении томления и сушки. За период процессов термообработки протеолитическая активность снизилась на 77,8% у ржаного и на 73,7% у гречишного солода (рисунок 6) [5].

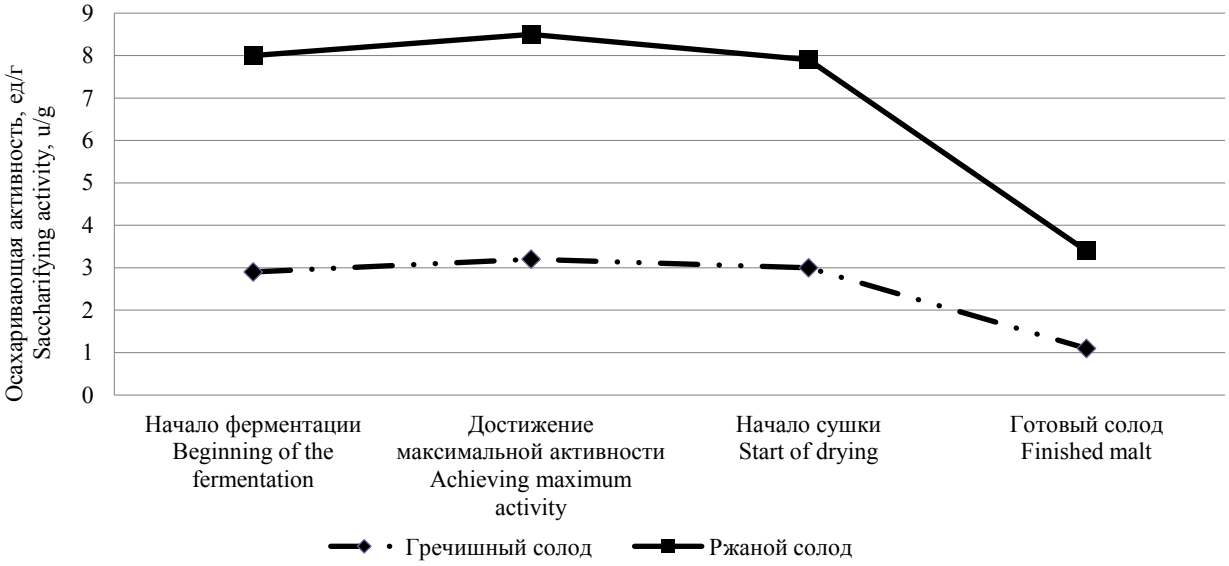


Рисунок 5. Изменение осахаривающей способности в процессе ферментации и сушки солода
Figure 5. Changes in the saccharifying capacity during fermentation and drying of malt

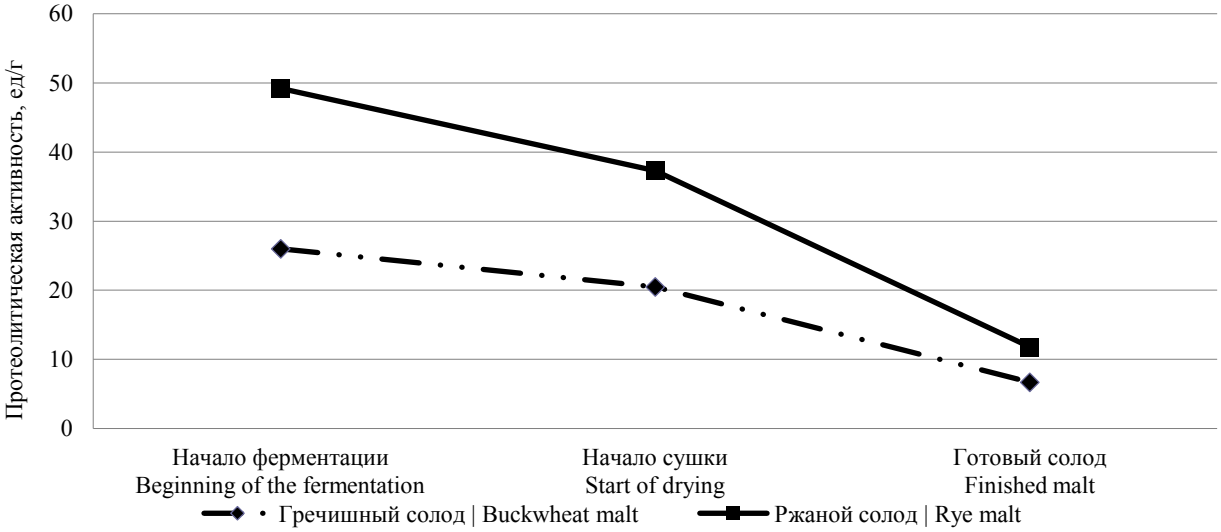


Рисунок 6. Изменение протеолитической активности в процессе ферментации и сушки солода
Figure 6. Changes in proteolytic activity during fermentation and drying of malt

В ходе проведенных исследований были получены ферментированные гречишный и ржаной солода, показатели которых представлены в таблице 5. Следует отметить, что полученный ферментированный ржаной солод соответствует II классу ГОСТ Р 52061-2003, а показатели ферментированного гречишного солода ниже, чем показатели ржаного ферментированного солода, потому что АС и ОСп гречишного солода была ниже, чем у ржаного (рисунки 4, 5).

Таблица 5.

Сравнительная характеристика ферментированного гречишного и ржаного солодов

Table 5.

Comparative characteristics of fermented buckwheat and rye malt.

Наименование показателя Indicator	Ферментированный солод | Malt	
	Гречишный | Buckwheat	Ржаной | Rye
Цвет | Color	Коричневый с красноватым оттенком Brown with reddish tint	Темно-коричневый с красноватым оттенком Dark brown with Reddish tint
Вкус | Taste	Сладковатый с кислинкой Sweet and Sour	Сладковатый с кислинкой, напоминающий вкус ржаного хлеба Sweet and sour, reminiscent of the Taste of rye bread
Массовая доля влаги, % Mass fraction of moisture, %	7,0	8,0
Массовая доля экстракта при горячем экстрагировании с вытяжкой из ячменного солода, % Mass fraction of the extract during hot extraction with barley malt extract, %	75	80,0
Кислотность солода, к.ед. The acidity of the malt. units.	30	31
Цвет солода, ц.ед. The color of the malt, TS.ed.	22	9,9

Анализ данных таблицы 5 свидетельствует о том, что происходит уменьшение массовой доли экстракта и увеличение цвета гречишного солода. Это происходит за счет гидролиза высокомолекулярных соединений – углеводов, белков до сахаров и аминокислот, за счёт протекания реакций меланоидинообразования, в результате которых улучшаются цвет, вкус и аромат солода.

Заключение

Применение гречихи в технологии ферментированного солода возможно. Это безглютеновое сырьё из-за низкого содержания глютеновой фракции белка может применяться для широкого круга потребителей, в том числе страдающих глютеновой непереносимостью [7]. Но для повышения его экстрактивности желательно использовать ферментные препараты [7–12].

Новизна предлагаемого технического решения подтверждена патентом РФ на изобретение № 2603268 «Способ производства ферментированного гречишного солода».

ЛИТЕРАТУРА

1 Chauhan A., Saxena D.C., Singh S. Total dietary fibre and antioxidant activity of gluten free cookies made from raw and germinated amaranth (Amaranthus spp.) flour // LWT-Food Science and Technology. 2015. V. 63. № 2. P. 939-945.

2 Gebremariam M.M., Zarnkow M., Becker T. Effect of drying temperature and time on alpha-amylase, beta-amylase, limit dextrinase activities and dimethyl sulphide level of teff (Eragrostis tef) malt // Food and Bioprocess Technology. 2013. V. 6. № 12. P. 3462-3472.

3 Об основах государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года (распоряжение Правительства Российской Федерации № 1873-р от 25 октября 2010 г).

4 Об утверждении плана мероприятии по реализации Основ государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года (распоряжение Правительства Российской Федерации № 1134-р от 30 июня 2012).

5 Ковальчук Н.С, Агафонов Г.В., Чусова А.Е., Грошева А.С.. Возможность применения гречихи в технологии функциональных напитков // Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса: материалы II Международной научно-практической конференции 5 апреля 2016 г. Воронеж: ВГУИТ, 2016. С. 278-282.

6 Пат. № 2603268, RU, C12C 1/18. Способ производства ферментированного гречишного солода / Ковальчук Н.С., Агафонов Г.В., Чусова А.Е., Коротких Е.А. и др. № 2015149854/10; Заявл. 2015149854; Опубл. 27.11.2016, бюлл. № 33.

7 Пат. № 2534359, RU, C12C 1/18. Способ получения гречишного солода / Новикова И.В., Коротких Е.А., Агафонов Г.В. № 2013141458/10; Заявл. 2013141458; Опубл. 27.11.2014, бюлл. № 33.

8 Троценко А.С., Танашкина Т.В., Корчагин В.П., Клыков А.Г. Проблемы и перспективы использования гречихи в пищевой биотехнологии // Вестник ТГЭУ. 2010. №2. С.104-114.

9 Starowicz M., Koutsidis G., Zielinski H. Sensory analysis and aroma compounds of buckwheat containing products—a review // Critical reviews in food science and nutrition. 2018. V. 58. № 11. P. 1767-1779.

10 Dezelak M., Zarnkow M., Becker T., Kosir I.J. Processing of bottom-fermented gluten free beer like beverages based on buckwheat and quinoa malt with chemical and sensory characterization // Journal of the Institute of Brewing. 2014. V. 120. №. 4. P. 360-370.

11 Zielinski H., Ciesarova Z., Kukurova K., Zielinska D. et al. Effect of fermented and unfermented buckwheat flour on functional properties of gluten-free muffins // Journal of food science and technology. 2017. V. 54. № 6. P. 1425-1432.

12 Gebremariam M.M., Zarnkow M., Ali K.A., Becker T. Studies on the mashing conditions of teff (E ragrostis tef) malt as a raw material for lactic acid fermented gluten free beverage // International journal of food science & technology. 2015. V. 50. № 9. P. 2032-2037.

REFERENCES

1 Chauhan A., Saxena D.C., Singh S. Total dietary fibre and antioxidant activity of gluten free cookies made from raw and germinated amaranth (Amaranthus spp.) flour. LWT-Food Science and Technology. 2015. vol. 63. no. 2. pp. 939-945.

2 Gebremariam M.M., Zarnkow M., Becker T. Effect of drying temperature and time on alpha-amylase, beta-amylase, limit dextrinase activities and dimethyl sul-phide level of teff (Eragrostis tef) malt. Food and Bioprocess Technology. 2013. vol. 6. no. 12. pp. 3462-3472.

3 Ob osnovah gosudarstvennoj politiki Rossijskoj Federacii v oblasti zdorovogo pitaniya naseleniya na period do 2020 goda [On the basis of the state policy of the Russian Federation in the field of healthy nutrition of the population for the period up to 2020 (Government Decree No. 1873-r of October 25, 2010)]. (in Russian).

4 Ob utverzhdenii plana meropriyatii po realizacii Osnov gosudarstvennoj politiki Rossijskoj Federacii v oblasti zdorovogo pitaniya naseleniya na period do 2020 goda [On approval of the action plan for the implementation of the Fundamentals of the State Policy of the Russian Federation in the field of healthy nutrition of the population for the period up to 2020 (Government Decree No. 1134-r of June 30, 2012)]. (in Russian).

5 Kovalchuk N.S, Agafonov G.V., Chusova A.E., Grosheva A.S. Feasibility of a buckwheat in technology of functional drinks. Sistemnyj analiz i modelirovanie processov upravleniya kachestvom v innovacionnom razvitii agropromyshlennogo kompleksa [System analysis and modeling of quality management processes in the innovative development of the agro-industrial complex: materials of the II International Scientific and Practical Conference on April 5, 2016]. Voronezh, VSUET, 2016. pp. 278-282. (in Russian).

6 Kovalchuk N.S., Agafonov G.V., Chusova A.E., Korotkih E.A. et al. Sposob proizvodstva fermentirovannogo grechishnogo soloda [Method of production of the fermented buckwheat malt]. Patent RF, no. 2603268, 2016.

7 Novikova I.V., Korotkih E.A., Agafonov G.V. Sposob polucheniya grechishnogo soloda [Method of receiving buckwheat malt]. Patent RF, no. 25343598, 2014.

8 Trocenko A.S., Tanashkina T.V., Korchagin V.P., Klykov A.G. Problems and the prospects of use of a buckwheat in food biotechnology. *Vestnik TGEU* [Bulletin of TSUE]. 2010. no. 2. pp. 104-114. (in Russian).

9 Starowicz M., Koutsidis G., Zielinski H. Sensory analysis and aroma compounds of buckwheat containing products—a review. Critical reviews in food science and nutrition. 2018. vol. 58. no. 11. pp. 1767-1779.

10 Dezelak M., Zarnkow M., Becker T., Kosir I.J. Processing of bottom-fermented gluten free beer like beverages based on buckwheat and quinoa malt with chemical and sensory characterization. Journal of the Institute of Brewing. 2014. vol. 120. no. 4. pp. 360-370.

11 Zielinski H., Ciesarova Z., Kukurova K., Zielinska D. et al. Effect of fermented and unfermented buckwheat flour on functional properties of gluten-free muffins. Journal of food science and technology. 2017. vol. 54. no. 6. pp. 1425-1432.

12 Gebremariam M.M., Zarnkow M., Ali K.A., Becker T. Studies on the mashing conditions of teff (E ragrostis tef) malt as a raw material for lactic acid fermented gluten free beverage. International journal of food science & technology. 2015. vol. 50. no. 9. pp. 2032-2037.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Геннадий В. Агафонов д.т.н., профессор, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kafedra_tbisp@mail.ru

Алла Е. Чусова к.т.н., доцент, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, hycovai@mail.ru

Наталия С. Ковальчук аспирант, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, natalibai13@gmail.ru

Наталья В. Зуева к.т.н., доцент, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств , Воронежский государственный университет инженерных технологий , пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, nataspirt30@yandex.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Геннадий В. Агафонов консультация в ходе исследования
Алла Е. Чусова предложила методику проведения эксперимента
Наталия С. Ковальчук написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат
Наталья В. Зуева организовала производственные испытания

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 09.10.2018
ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 28.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Gennadij V. Agafonov Dr. Sci. (Engin.), professor, technologies of fermentation and sugar industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kafedra_tbisp@mail.ru

Alla E. Chusova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technologies of fermentation and sugar industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, hycovai@mail.ru

Natalya S. Kovalchuk graduate student, technologies of fermentation and sugar industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, natalibai13@gmail.ru

Natalya V. Zuyeva Cand. Sci. (Engin.), associate professor , technologies of fermentation and sugar industries department , Voronezh state university of engineering technolo-gies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, nataspirt30@yandex.ru

CONTRIBUTION

Gennadij V. Agafonov consultation during the study
Alla E. Chusova proposed a scheme of the experiment
Natalya S. Kovalchuk wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Natalya V. Zuyeva organized production trials

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.9.2018
ACCEPTED 11.28.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 637.52:664.7

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-177-184

Разработка технологии колбасного хлеба функциональной направленности на основе продуктов переработки семян льна масличного

Светлана П. Меренкова [1] dubininup@mail.ru
Ирина Ю. Потороко [1] irina_potoroko@mail.ru
Виктория В. Семиздралова [1] nagibina.viktori@mail.ru

[1] Южно-Уральский государственный университет (НИУ), пр-т Ленина, 76, г Челябинск, 454080, Россия

Аннотация. Потребители ассоциируют готовые мясопродукты с негативным воздействием на здоровье, что связано с высоким содержанием насыщенных жиров; пищевых добавок и канцерогенных веществ. Растет потребительский спрос на функциональные продукты со сниженным количеством насыщенных жиров. Целью научной работы являлось обоснование функциональных свойств колбасного хлеба произведенного с использованием белково-жировых эмульсий на основе муки из сортов льна – ЛМ-98 и Рациол; Уральский. В рецептуре колбасного хлеба «Любительский» проводили замену 15% жирового и мясного сырья на белково-жировую эмульсию (БЖЭ) на основе льняной муки. Установлено: добавление БЖЭ способствует формированию более выраженного вкуса и аромата, привлекательного внешнего вида и рисунка на разрезе мясных изделий. При анализе химического состава мясопродуктов отмечено увеличение содержания жира на 12,7–23,7%; концентрации растворимых (до 71,4%), и нерастворимых (до 22%) пищевых волокон; содержания кальция на 30,1%, фосфора – на 16,8%. В ходе эксперимента доказана высокая биологическая ценность липидной фракции колбасного хлеба, содержащего льняную муку. Содержание полиненасыщенных жирных кислот возросло на 15,8–29,2%, концентрация ω-3 жирных кислот увеличилась в 3,7–7,7 раз. Соотношение ω-3:ω-6 жирных кислот в образцах с льняной мукой сорта Уральский составило 1:1,3, употребление 50 г колбасного хлеба удовлетворяет суточную потребность в ω-3 жирных кислотах на 60,8%. Соотношение ω-3:ω-6 жирных кислот в образцах с льняной мукой сорта Рациол – 1:3,3; употребление 50 г колбасного хлеба удовлетворяет суточную потребность в ω-3 кислотах на 29,5%. Колбасный хлеб, содержащий 5,6% муки льняной сортов Уральский и Рациол, следует отнести к функциональным продуктам питания, вследствие высокого содержания функционального компонента и способности удовлетворять более 15% суточной потребности в ω-3 жирных кислотах.

Ключевые слова: колбасный хлеб, белково-жировые эмульсии, липидный профиль, полиненасыщенные жирные кислоты, омега-3 жирные кислоты, функциональный мясной продукт

Development of sausage bread technology with a functional orientation based on flax seed products

Svetlana P. Merenkova [1] dubininup@mail.ru
Irina Yu. Potoroko [1] irina_potoroko@mail.ru
Victoria V. Semizdralova [1] nagibina.viktori@mail.ru

[1] South Ural State University (NRU), Lenin Av., 76, Chelyabinsk, 454080, Russia

Abstract. Consumers associate the finished meat products with negative health effects that are connected with a high content of saturated fat; food additives and carcinogenic substances. Consumer demand for functional products with a reduced amount of saturated fats is growing. The purpose of scientific research was justification the functional properties of sausage bread manufactured using protein-fatty emulsions based on flour made from flax-LM-98 Raziol; Ural. In the recipe of sausage bread 15% of fat and meat raw materials were replaced by the protein-fatty emulsion based on flax flour. It is established: addition of emulsion contributes to a more pronounced flavor and aroma, attractive appearance and drawing on a cut of meat products. Analysis of the chemical composition meat products showed an increase in fat content on 12.7-23.7%; soluble and insoluble dietary fibers concentration; calcium and phosphorus content. The experiment proved the high biological value of lipid fraction in sausages containing flax flour. Content of polyunsaturated fatty acids increased by 15.8–29.2%, concentration of ω-3 fatty acids increased 3.7–7.7 times. The ratio of ω-3:ω-6 fatty acids in samples with flax flour of Ural grade amounted to 1:1.3, consumption of 50 g sausages satisfies the daily need in ω-3 fatty acids by 60.8%. The ratio of ω-3:ω-6 fatty acids in samples with flax flour of Raziol grade amounted to 1:3.3; consumption of 50 g sausages satisfies the daily need in ω-3 by 29.5%. Sausage bread containing 5.6% flax flour Ural and Raziol varieties should be attributed to functional foods, due to the high content of functional component and the ability to satisfy more than 15% of the daily need for ω-3 fatty acids.

Keywords: sausage bread, protein-fatty emulsion, lipid profile, polyunsaturated fatty acids, Omega-3 fatty acids, functional meat product

Для цитирования

Меренкова С.П., Потороко И.Ю., Семиздралова В.В. Разработка технологии колбасного хлеба функциональной направленности на основе продуктов переработки семян льна масличного // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 177–184. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-177-184

For citation

Merenkova S.P., Potoroko I.Yu., Semizdralova V.V. Development of sausage bread technology with a functional orientation based on flax seed products. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 177–184. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-177-184

Введение

В настоящее время значительная доля потребителей считает, что готовые к употреблению мясопродукты негативно воздействуют на здоровье. Это связано с высоким содержанием насыщенных жиров; пищевых добавок из низкосортного сырья; канцерогенных веществ, применяемых для сохранения цвета, усиления вкуса и аромата.

Животный жир оказывает значительное влияние на вкус, аромат, текстуру колбасных изделий. Кроме того, липиды являются проводниками ароматических компонентов, придавая характерный аромат специй, копчёности мясопродуктам. Однако установлено, что чрезмерное потребление животного жира связано с артериальной гипертензией и повышенным риском сердечно-сосудистых заболеваний. В качестве факторов, способствующих развитию некоторых видов рака, были определены избыточные поступления насыщенных жирных кислот. Следовательно, растет потребительский спрос на продукты питания со сниженным количеством насыщенных жиров в переработанном мясе, что стимулирует развитие технологий функциональных мясных продуктов [1].

Основной целью предприятий мясной индустрии является разработка инновационных мясопродуктов с высокой пищевой и биологической ценностью, сбалансированным содержанием эссенциальных нутриентов, пониженной концентрацией антипитательных веществ. Для получения мясных продуктов, благоприятно влияющих на здоровье человека, применяются различные стратегии переработки сырья и функциональные ингредиенты в рецептуре [2].

Исследования, связанные с проблемой коррекции липидной фракции готовых мясных, изделий востребованы как в научных кругах, так и в производственной сфере во всем мире. Белково-жировые эмульсии (БЖЭ) – наиболее эффективный способ модификации рецептур с целью улучшения биологической эффективности липидного профиля мясных продуктов. Вязкие эмульсии характеризуются определенными структурно-механическими свойствами, что позволяет регулировать реологические свойства мясных систем при добавлении таких эмульсий. В настоящее время во всем мире эмульсии «масло в воде» широко применяются для минимизации изменений структурных и органолептических свойств мясных продуктов при модификации липидного профиля и замене животного жира [3].

I. Valencia et all применяли льняное масло с целью модификации липидного профиля свиных сосисок, а также замедления окислительной порчи. Авторами установлено возрастание концентрации полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), в частности α-линоленовой кислоты (АЛК), а также снижение уровня окисления липидов после 7 дней хранения при замене до 15% свиного шпика [4].

Для улучшения состава жирных кислот была изучена возможность замены животного жира в сухих ферментированных колбасах на эмульсию на основе каррагинана и льняного масла. При различных уровнях замещения (25–39%) установлено увеличение концентрации ПНЖК (до 10,3%) и снижение соотношения ω-6/ω-3 (на 75–84%). Замена жира на эмульсию не вызвала негативных изменений в сенсорных показателях и цветовых характеристиках мясопродукта [5].

С.Д. Патюков предложил применить семена и масло льна для коррекции технологических свойств мясных систем с дефектами автолиза, привел данные по разработке добавок для коррекции функционально-технологических свойств мясного сырья с дефектом DFD и PSE [6].

Приоритетным вопросом при разработке функциональных мясных продуктов является восполнение эссенциальных нутриентов, в частности, полиненасыщенных жирных кислот. Льняное семя считается функциональным компонентом при производстве инновационных продуктов питания, уникальность которого заключается в высоком содержании α-линоленовой кислоты (АЛК), способствующей осуществлению важных биологических функций в организме человека [7].

α-Линоленовая (АЛК, ALA) ПНЖК – это растительная ω-3 жирная кислота, которая в организме человека не синтезируется. Важнейшей особенностью АЛК является ее способность частично (2–20%) превращаться в другие ω-3 кислоты (эйкозапентаеновую кислоту (ЭПК, EPA) и докозагексаеновую кислоту (ДГК, DHA) путем наращивания количества атомов углерода. ДГК и ЭПК являются эталонными ω-3 кислотами. В небольшом количестве они синтезируются морскими водорослями, откуда по пищевой цепочке накапливаются в жире морских рыб и морепродуктах.

Исследованиями доказано, что биологическая роль ω-3, ω-6 жирных кислот заключается в участии в синтезе гормонов – простагландинов, которые осуществляют регуляцию воспалительных процессов в организме, деятельности сердечно-сосудистой и нервной

систем. Высокое содержание ω-3 жирных кислот в рационе оказывает антистрессовое и адаптогенное действие, стимулирует умственную деятельность и работоспособность человека. Поступающие с пищей ПНЖК конкурируют за ферменты, участвующие в их обмене, рекомендуется придерживаться научно обоснованного соотношения ω-3, ω-6 жирных кислот, которое должно составлять 1:5 [8].

Обоснованием использования семени льна для создания функциональных продуктов питания является значительное содержание в нем растительных белков, обладающих высокой биологической ценностью и усвояемостью. Содержание белка в льняном семени значительно выше, чем в семенах других зерновых культур.

Пищевые волокна семян льна состоят из двух фракций: растворимой (слизи, галактоманнаны, гемицеллюлозы), способствующей улучшению ферментации в толстой кишке, увеличению короткоцепочечных жирных кислот, снижению содержания холестерина; и нерастворимой (целлюлоза), усиливающей перистальтику и способствующей очистке желудочно-кишечного тракта. Клетчатка обладает пребиотической активностью, улучшает микрофлору кишечника, способна сорбировать и выводить из организма токсические вещества [9].

Льняное семя является источником основного предшественника лигнанов – диглюкозида секоизоларицирезинола. Это вещество, относящееся к классу фитоэстрогенов и проявляющее эстрогеноподобную активность в организме человека. Установлено, что лигнаны обладают антиаллергическим и антиоксидантным действием [10].

Цель работы – экспериментальное обоснование функциональных свойств и высокой пищевой ценности колбасного хлеба, произведенного с использованием белково-жировых эмульсий на основе льняной муки.

Материалы и методы

Материалом для исследования были семена льна, выращенные в условиях Уральского НИИСХ: желто-семенные сорта пищевого назначения – ЛМ-98 и Рациол; коричнево-семенной сорт технического назначения – Уральский. Данные сорта характеризуются высоким содержанием жира (44–45%), белка (25–28%), полиненасыщенных жирных кислот (75–82%), однако имеют значительные различия по соотношению ω-3, ω-6 жирных кислот.

Из семян льна различных сортов путем технологической переработки (очистка семян от примесей; промывка при температуре 20 °С; сушка при температуре 70–80 °С; измельчение семян; просеивание через сита) была получена мука льняная необезжиренная, которая характеризовалась высоким содержанием жира (до 44%) и белка (до 25%).

Объектом исследования служили образцы колбасного хлеба, изготовленные по рецептуре хлеба «Любительский». В рецептуре проводили замену 15% жирового и мясного сырья на белково-жировую эмульсию (БЖЭ) на основе льняной муки и соевого белка. В связи с тем что доказаны функционально-технологические свойства льняного белка и возможность замены соевого белка на льняной, были изготовлены белково-жировые эмульсии из необезжиренной льняной муки, исключив соевые компоненты и жировую фазу. Модифицированные рецептуры представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Модифицированные рецептуры образцов колбасного хлеба

Table 1.

Modified recipes of sausage bread

Название сырья Raw material	Контроль Control	№ 1 (лен Уральский)	№ 2 (лен Рациол)	№ 3 (лен ЛМ-98)	№ 4 (лен Уральский)	№ 5 (лен Рациол)	№ 6 (лен ЛМ-98)
1	2	3	4	5	6	7	8
Основное сырье, кг | Main raw materials, kg							
Говядина высшего сорта Premium beef	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Свинина полужирная | Pork, bold	0,3	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
Шпик хребтовый | Back fat	0,09	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Эмульсия (масса на один образец 0,09 кг), кг | Emulsion (Weight per one sample 0.09 kg), Kg							
Соевый белок | Soy protein	–	–	–	–	0,011	0,011	0,011
Льняная мука | Flax meal	–	0,034	0,034	0,034	0,023	0,023	0,023
Вода | Water	–	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056

Продолжение табл. 1. | Continuation of table 1.

1	2	3	4	5	6	7	8
Вспомогательное сырье, г | Auxiliary raw materials, g							
Соль поваренная пищевая | Salt	15	15	15	15	15	15	15
Нитрит натрия Sodium nitrite	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Сахар-песок Granulated sugar	0,66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
Перец черный Black pepper	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
Кардамон | Cardamom	0,4	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
Примечание: в образцах 1–6 замена жирового и мясного сырья на 15% эмульсии Note: In Samples 1 – 6 replacement of fat and meat raw materials by 15% emulsion							

Органолептические свойства образцов колбасного хлеба были оценены по 9-балльной шкале согласно ГОСТ 9959. Определение массовой доли влаги проводили согласно ГОСТ 9793; белка – согласно ГОСТ 25011; жира – ГОСТ 23042. Содержание растворимых и нерастворимых пищевых волокон определяли по методике, описанной в «Руководстве по методам анализа и безопасности пищевых продуктов» под редакцией И.М. Скурихина. Сущность метода заключается в гидролизе и удалении белковых и крахмалистых веществ ферментами на растительной основе. Массовую долю фосфора определяли согласно ГОСТ 9794. Содержание кальция определяли по методике, описанной в «Руководстве по методам анализа и безопасности пищевых продуктов» под редакцией И.М. Скурихина. Определение жирнокислотного состава льняной муки проводили согласно ГОСТ 31663-2012.

Результаты и обсуждение

Органолептические показатели мясопродуктов определяли в следующей последовательности: внешний вид; цвет и рисунок на разрезе; структура и консистенция; запах и аромат; вкус; сочность. Балльная оценка показателей качества колбасных хлебов представлена на рисунках 1 и 2.

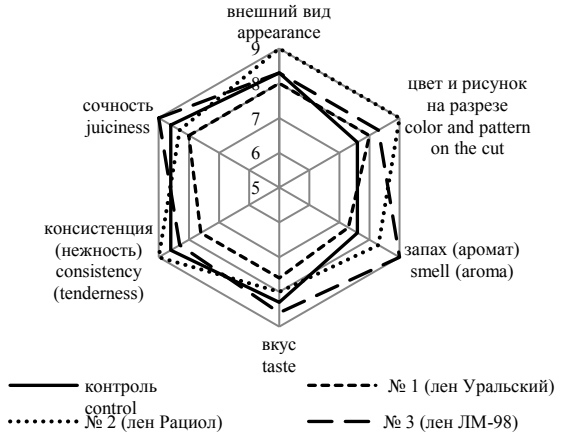


Рисунок 1. Результаты дегустационного анализа колбасного хлеба на основе эмульсии с льняной мукой

Figure 1 Degustation analysis of the sausage bread based on emulsions with flax flour

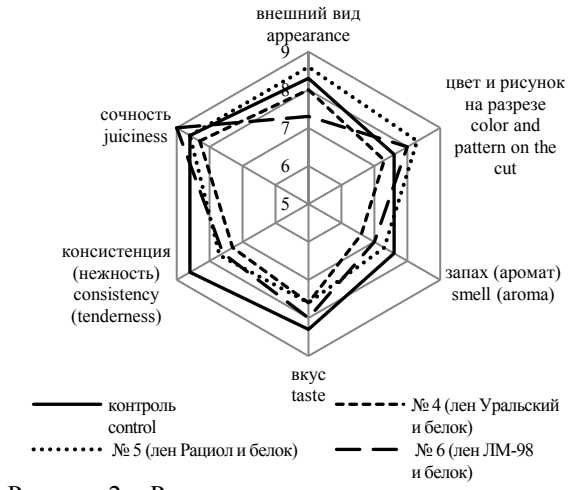


Рисунок 2. Результаты дегустационного анализа колбасного хлеба на основе эмульсии с льняной мукой и соевым белком

Figure 2. Degustation analysis of the sausage bread based on emulsions with flax flour and soy protein

Добавление БЖЭ на основе льняной муки способствует формированию более выраженного вкуса и аромата (образцы № 2 и 3), привлекательного внешнего вида и рисунка на разрезе мясных изделий (образцы № 1–3) по сравнению с контрольным образцом. Причем при добавлении в рецептуру эмульсии на основе муки из семян льна Рациол отмечены наиболее высокие баллы за показатели: внешний вид, цвет и рисунок на разрезе, консистенция.

При внесении в рецептуру колбасного хлеба БЖЭ на основе льняной муки и соевого белка отмечено ухудшение органолептических свойств опытных образцов № 4–6 по сравнению с образцами, содержащими только льняную муку (№ 1–3), по показателям: внешний вид, цвет и рисунок на разрезе, вкус, аромат, консистенция.

В результате дегустационного анализа установлено, что оптимальные органолептические свойства колбасного хлеба формируются при внесении в рецептуру эмульсий на основе льняной муки. Образцы, получившие наиболее высокие оценки при дегустационном анализе, в дальнейшем подвергались физико-химическим исследованиям (таблица 2).

В рецептуры опытных образцов колбасного хлеба вводили БЖЭ на основе необезжиренной льняной муки в количестве 15% взамен части жирового и мясного сырья. Закономерно при анализе химического состава опытных образцов мясопродуктов отмечено снижение содержания белка на 11,5–22,9%; увеличение массовой доли жира на 12,7–23,7% по сравнению с контролем. Стоит отметить, что увеличение количества жировой фракции в составе колбасного хлеба связано с введением в рецептуру необезжиренной льняной муки, содержащей более 44% жира.

Как было отмечено ранее, льняная мука является ценным источником пищевых волокон. Следовательно, в образцах мясных изделий, содержащих льняную муку различных сортов, отмечено возрастание концентрации как растворимых (до 71,4%), так и нерастворимых (до 22%) пищевых волокон.

Многочисленными исследованиями установлено, что льняное семя богато фосфором и кальцием. Экспериментально доказано возрастание содержание данных макроэлементов в опытных образцах колбасного хлеба. В мясопродуктах, содержащих в рецептуре льняную муку сорта Рациол, отмечено увеличение концентрации кальция на 30,1%, фосфора – на 16,8% относительно контрольного образца.

Таблица 2.

Химический состав образцов колбасного хлеба

Table 2.

Chemical composition of sausage bread samples

Определяемые показатели Indicators defined	Результаты исследования для образцов колбасного хлеба Research results for sausage bread samples				
	Контрольный образец | Control	Образец № 1 (лен Ураль.)	Образец № 2 (лен Рациол)	Образец № 3 (лен ЛМ-98)	ГОСТ Р 52196
Массовая доля влаги, % Mass fraction of moisture, %	67,4 ± 1,7	68,3 ± 1,8	66,1 ± 1,6	64,7 ± 1,5	н.н.
Массовая доля белка, % Mass fraction of protein, %	19,2 ± 0,9	17,0 ± 0,9	15,6 ± 0,9	14,8 ± 0,9	> 13
Массовая доля жира, % | Mass fraction of fat, %	11,8 ± 0,8	13,3 ± 0,7	14,6 ± 0,7	14,1 ± 0,4	> 30
Содержание нерастворимых пищевых волокон, г/100 г Content of insoluble dietary fiber, g/100 g	1,8 ± 0,12	2,1 ± 0,15	2,1 ± 0,16	2,2 ± 0,13	н.н.*
Содержание растворимых и пищевых волокон, г/100 г Content of soluble and dietary fibers, g/100 g	0,7 ± 0,15	1,2 ± 0,15	1,1 ± 0,16	0,9 ± 0,19	н.н.
Содержание кальция, мг/100 г Calcium content, mg/100 g	559,57 ± 11,8	554,48 ± 11,6	728,14 ± 16,2	601,92 ± 10,9	н.н.
Содержание фосфора, мг/100 г Phosphorus content, mg/100 g	110,2 ± 4,8	112,4 ± 4,5	128,7 ± 5,4	117,3 ± 5,1	н.н.

* Не нормируется | Not standardized

В ходе эксперимента установили жирнокислотный профиль липидов муки льняной (экспериментально) (рисунок 3) и образцов колбасного хлеба (расчетным путем) (таблицы 3–5). Была доказана высокая биологическая ценность липидной фракции образцов колбасного хлеба, содержащих льняную муку (таблица 6).

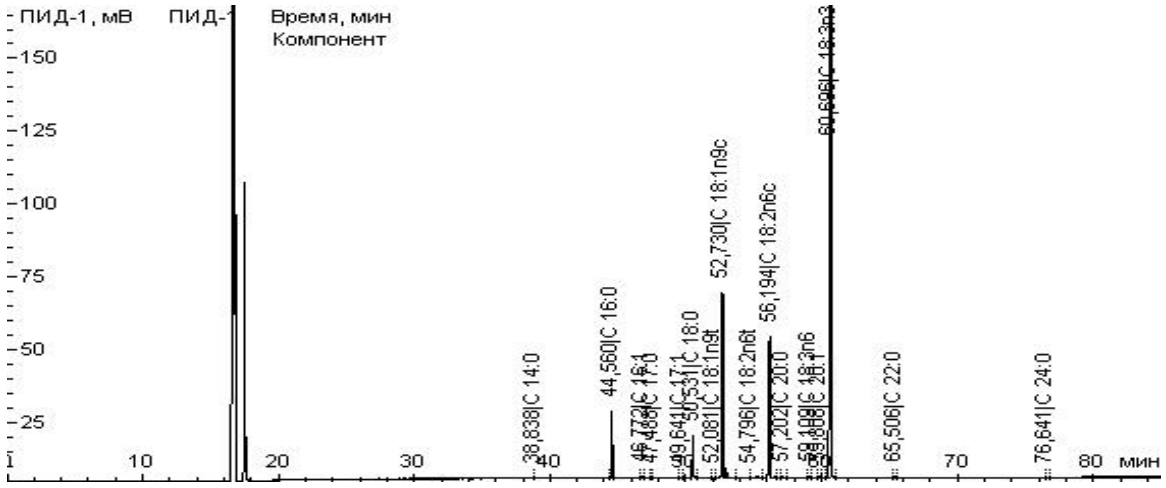


Рисунок 3. Хроматограмма льняной муки сорта Уральский

Figure 3. The chromatogram of Ural grade flax flour

Таблица 3.

Жирнокислотный состав сырья в рецептуре колбасного хлеба

Table 3.

Fatty-acid composition of raw materials in the sausage bread recipe

Вид сырья Type of raw material	Содержание жирных кислот, % (г/100 г продукта) Content of fatty acids, % (g/100 g of the product)				
	Насыщенные НЖК Saturated LCD	Мононенасыщенные (МНЖК) Monounsaturated (MLCD)	Полиненасыщенные Polyunsaturated		
			Всего Total	*ω*-6	*ω*-3
Говядина I категории | Beef of I category	7,12	7,42	0,56	0,4	0,14
Свинина полужирная | Pork, bold	11,82	15,38	3,64	3,28	0,22
Жир свиной | Pork fat	33,34	41,98	10,41	9,45	0,61
Мука льна сорта ЛМ-98 | Flax flour varieties LM 98	4,667	7,282	32,954	31,662	1,292
Мука льна сорта Рациол | Flour flax varieties Diet	4,251	7,312	29,813	16,241	13,572
Мука льна сорта Уральский | Flour flax varieties Ural	4,336	8,715	38,24	6,906	31,335

Таблица 4.

Расчет жирнокислотного состава образцов колбасного хлеба № 1 (лен Уральский)

Table 4.

Calculation the fatty-acid composition of the sausage bread sample № 1 (flax Ural grade)

Наименование сырья Name of raw materials	Количество сырья в рецептуре (г/100 г) Quantity of raw materials in the recipe (g/100 g)	Содержание жирных кислот, % (г/100 г)				
		НЖК LCD	МНЖК MLCD	ПНЖК | PLCD		
				Всего Total	*ω*-6	*ω*-3
Говядина I категории Beef of I category	35	2,490	2,600	0,196	0,140	0,050
Свинина полужирная Pork, bold	43,3	5,120	6,660	1,580	1,420	0,090
Жир свиной Pork fat	6,6	2,200	2,770	0,690	0,620	0,040
Мука льна Уральский Flax flour, Ural	5,63	0,240	0,490	2,153	0,389	1,764
Итого Subtotal	100,0	10,050	12,520	4,623	2,569	1,944

Таблица 5.

Расчет жирнокислотного состава контрольных образцов колбасного хлеба

Table 5.

Calculation the fatty-acid composition of the control sample sausage bread

Наименование сырья Name of raw materials	Количество сырья в рецептуре (г/100 г) Quantity of raw materials in the recipe (g/100 g)	Содержание жирных кислот, % (г/100 г) Content of fatty acids, % (g/100 g of the product)				
		НЖК LCD	МНЖК MLCD	ПНЖК | PLCD		
				Всего Total	*ω*-6	*ω*-3
Говядина I категории Beef of I category	35	2,49	2,600	0,196	0,140	0,050
Свинина полужирная Pork, bold	50	5,91	7,690	1,82	1,640	0,110
Жир свиной Pork fat	15	5,00	6,297	1,562	1,418	0,092
Итого Subtotal	100,0	13,40	16,587	3,578	3,198	0,252

Таблица 6.

Жирнокислотный состав образцов колбасного хлеба

Table 6.

Fatty-acid composition of sausage bread samples

Опытный образец | Prototype	Содержание жирных кислот, % (г/100 г продукта) Content of fatty acids, % (g/100 g of the product)				
	Насыщенные НЖК LCD	Мононенасыщенные (МНЖК) в т. ч. группы ω-9 Monounsaturated (MLCD) in the same group ω-9	Полиненасыщенные Polyunsaturated		
			Всего | Total	ω-6	ω-3
№ 1 Уральский	10,050	12,520	4,623	2,569	1,944
№ 2 Рациол	10,052	12,442	4,144	3,094	0,944
№ 3 ЛМ-98	10,073	12,440	4,321	3,963	0,253
Контрольный | Control	13,400	16,587	3,578	3,198	0,252

Согласно нормам физиологических потребностей соотношение ω-3:ω-6 жирных кислот должно составлять 1:5 (10) (при патологических состояниях 1:3). Среднесуточная потребность взрослых в ω-6 ПНЖК составляет 8–10 г (5–8% от калорийности рациона), в ω-3 жирных кислотах – 0,8..1,6 г (1–2% от калорийности рациона) (МР Нормы рационального питания (2008).

При введении в состав колбасного хлеба льняной муки различных сортов содержание полиненасыщенных жирных кислот возросло на 15,8–29,2%. Концентрация ω-3 жирных кислот увеличилась в 7,7 раз для образцов с льняной мукой сорта Уральский; в 3,7 – для образцов с льняной мукой сорта Рациол.

Соотношение ω-3:ω-6 жирных кислот в образцах мясных изделий с льняной мукой сорта Уральский составляет 1,0:1,3, что не отвечает нормам сбалансированного питания. Однако употребление 50 г колбасного хлеба позволяет удовлетворить суточную потребность в ω-3 жирных кислотах на 60,8%.

Соотношение ω-3:ω-6 жирных кислот в образцах изделий с льняной мукой сорта Рациол – 1,0:3,3. Употребление 50 г колбасного хлеба удовлетворяет суточную потребность в ω-3 жирных кислотах на 29,5%.

Колбасный хлеб, содержащий льняную муку сорта ЛМ-98, характеризуется наименьшим содержанием ω-3 жирных кислот, несбалансированным соотношением жирных кислот группы ω-3:ω-6 (1,0:15,7).

Согласно принципам рационального питания колбасный хлеб, произведенный на основе БЖЭ из льняной муки сорта Рациол, характеризуется оптимальным количеством и соотношением эссенциальных полиненасыщенных жирных кислот группы ω-3 и ω-6.

Заключение

В результате анализа научных данных и экспериментальных исследований установлено, что применение белково-жировых эмульсий на основе льняной муки различных сортов в рецептуре колбасного хлеба позволяет производить изделия со стандартными органолептическими и физико-химическими показателями. Причем по сенсорным характеристикам мясопродукты с льняной мукой, превосходят изделия, выработанные по традиционной рецептуре. Доказана высокая пищевая ценность колбасного хлеба, содержащего необезжиренную льняную муку сортов Уральский, Рациол, ЛМ-98. Установлено возрастание количества эссенциальных нутриентов: растворимых и нерастворимых пищевых волокон, кальция, фосфора, полиненасыщенных жирных кислот.

Согласно ГОСТ Р 52349 и ГОСТ Р 55577 колбасный хлеб, выработанный по рецептурам № 1 (лен Уральский) и № 2 (лен Рациол), следует отнести к функциональным продуктам питания, вследствие высокого содержания функционального компонента – жирных кислот группы ω-3, в количестве более 0,4 г на 100 г продукта. Колбасный хлеб, содержащий 5,63% муки льняной сорта Уральский и Рациол, удовлетворяет более 15% суточной потребности в функциональном пищевом ингредиенте при употреблении порции продукта (50 г), предотвращает и восполняет имеющийся в организме дефицит ω-3 жирных кислот.

ЛИТЕРАТУРА

1 Berasategi I., Garcia-Iniguez de Ciriano M., Navarro-Blasco I., Calvo M. et al. Reduced fat bologna sausages with improved lipid fraction // Science of Food and Agriculture. 2014. V. 94. № 4. P. 744–51. doi: 10.1002/jsfa.6409.

2 Colmenero F.J., Carballo J., Cofrades S. Healthier meat and meat products: Their role as functional foods // Meat Science. 2001. V. 59. № 1. P. 5–13. doi: 10.1016/S0309–1740(01)00053–5.

3 Öztürk B., Serdaroğlu M., Karabıyıkoğlu M. Stability of model system beef emulsions containing linseed oil-in-water gelled emulsions // Conference: 63rd International Congress of Meat Science and Technology. 2017.

4 Valencia I., O'Grady M.N., Ansorena D., Astiasarán I. et al. Enhancement of the nutritional status and quality of fresh pork sausages following the addition of linseed oil fish oil and natural antioxidants // Meat Science. 2008. V. 80. № 4. P. 1046–1054.

5 Alejandre M., Poyato C., Ansorena D., Astiasaran I. Linseed oil gelled emulsion: A successful fat replacer in dry fermented sausages // Meat science. 2016.V. 121. P.107–113.

6 Патюков С.Д., Маркидова О.Е. Применение семян и масла льна для коррекции технологических свойств мясного сырья с дефектами автолиза. Часть I. Дефект DFD // Пищевая наука и технология. 2013. Т. 23. № 2. С. 94–99.

7 Пащенко Л.П. Функциональные свойства семян масличного льна // Успехи современного естествознания. 2006. № 10. С. 98–99.

8 Запорожная Л.И., Гаммель И.В. Характеристика и биологическая роль эссенциальных полиненасыщенных жирных кислот // Медицинский совет. 2012. № 1. С. 134–136.

9 Аверьянова Е.В. Функциональные пищевые ингредиенты растительного происхождения // Биотехнология и общество в XXI веке: сб. ст. по мат. науч.-практ. конф. Международного биотехнологического симпозиума «Bio-Asia – 2015». 2015. С. 98–101.

10 Белявская И.Г, Богатырева Т.Г, Юдина Т.А., Иунихина Е.В. и др. Льняная мука – источник антиоксидантов в хлебобулочных изделиях для здорового питания // Пищевая промышленность. 2015. № 4. С. 32–34.

REFERENCES

1. Berasategi I., Garcia-Iniguez de Ciriano M., Navarro-Blasco I., Calvo M. et al. Reduced fat bologna sausages with improved lipid fraction. Science of Food and Agriculture. 2014. vol. 94. no. 4. pp. 744–51. doi: 10.1002/jsfa.6409

2. Colmenero F.J., Carballo J., Cofrades S. Healthier meat and meat products: Their role as functional foods. Meat Science. 2001. vol. 59. no. 1. pp. 5–13. doi: 10.1016/S0309–1740(01)00053–5

3. Öztürk B., Serdaroğlu M., Karabıyıkoğlu M. Stability of model system beef emulsions containing linseed oil-in-water gelled emulsions. Conference: 63rd International Congress of Meat Science and Technology. 2017.

4. Valencia I., O'Grady M.N., Ansorena D., Astiasarán I. et al. Enhancement of the nutritional status and quality of fresh pork sausages following the addition of linseed oil fish oil and natural antioxidants. Meat Science. 2008. vol. 80. no. 4. pp. 1046–1054.

5. Alejandre M., Poyato C., Ansorena D., Astiasaran I. Linseed oil gelled emulsion: A successful fat replacer in dry fermented sausages. Meat science. 2016.vol. 121. pp.107–113.

6. Patyukov S.D., Markidova O.E. The use of seeds and flax oil to correct the technological properties of raw meat with autolysis defects. *Pishchevaya nauka i tekhnologiya* [Food science and technology]. 2013. vol. 23. no. 2 pp. 94–99. (in Russian).

7. Pashchenko L.P. Functional properties of oil flax seeds. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural science]. 2006. no. 10. pp. 98–99. (in Russian).

8. Zaporozhnaya L.I., Gammel I.V. Characteristic and biological role of essential polyunsaturated fatty acids. *Medicinskij sovet* [Medical advice]. 2012. no. 1. pp. 134–136. (in Russian).

9. Averyanova E.V. Functional food ingredients of plant origin. Biotekhnologiya i obshchestvo v XXI veke [Biotechnology and society in the XXI century: collection of articles based on the scientific and practical conference of the International Biotechnology Symposium «Bio-Asia – 2015». 2015. pp. 98–101. (in Russian).

10. Belyavskaya I.G., Bogatyreva T.G., Yudina T.A., Iunikhina E.V. Flax meal – a source of antioxidants in bakery products for a healthy diet. *Pishchevaya promyshlennost* [Food industry]. 2015. no. 4. pp. 32–34. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Светлана П. Меренкова к.вет.н., доцент, кафедра пищевые и биотехнологии, Южно-Уральский государственный университет (НИУ), пр-т Ленина, 76, г Челябинск, 454080, Россия, dubininup@mail.ru

Ирина Ю. Потороко д.т.н., профессор, кафедра пищевые и биотехнологии, Южно-Уральский государственный университет (НИУ), пр-т Ленина, 76, г Челябинск, 454080, Россия, irina_potoroko@mail.ru

Виктория В. Семиздралова аспирант, кафедра пищевые и биотехнологии, Южно-Уральский государственный университет (НИУ), пр-т Ленина, 76, г Челябинск, 454080, Россия, nagibina.viktori@mail.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Svetlana P. Merenkova Cand. Sci. (Vet.), associate professor, food and biotechnology department, South Ural State University (NRU), Lenin Av., 76. Chelyabinsk, 454080, Russia, dubininup@mail.ru

Irina Yu. Potoroko Dr. Sci. (Engin.), professor, food and biotechnology department, South Ural State University (NRU), Lenin Av., 76. Chelyabinsk, 454080, Russia, irina_potoroko@mail.ru

Victoria V. Semizdralova graduate student, food and biotechnology department, South Ural State University (NRU), Lenin Av., 76 Chelyabinsk, 454080, Russia, nagibina.viktori@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Светлана П. Меренкова провела обзор литературы по изучаемой проблеме, написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Ирина Ю. Потороко предложила методику проведения эксперимента и организовала производственные испытания

Виктория В. Семиздралова провела эксперимент, выполнила расчёты

CONTRIBUTION

Svetlana P. Merenkova review of the literature on an investigated problem, wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Irina Yu. Potoroko proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Victoria V. Semizdralova conducted an experiment, performed computations

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 10.10.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 13.11.2018

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.10.2018

ACCEPTED 11.13.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 543.544.5.068.7

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-185-189

Существующие проблемы и пути их решения при анализе аминокислотного состава

Артем П. Санжеев [1] a.sanzheev@sevko.net
Александра А. Михина [1] mikhina@sevko.net
Дарья А. Севко [1] daria@sevko.net
Александр В. Севко [1] alexander@sevko.net
Сергей Б. Ворожейкин [2] deliverer@mail.ru
Екатерина П. Анохина [3] katya_anoh@mail.ru
Алиса А. Коротаева [3] alisa-korotaeva@mail.ru

[1] НПК «Sevko&Co», г. Москва, Россия
[2] Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова, г. Элиста, Россия
[3] Воронежский государственный университет инженерных тех-нологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, Россия

Аннотация. При анализе белковых препаратов для получения точных результатов анализа содержания аминокислот необходимо уделять внимание как выбору метода анализа аналитов, так и методу пробоподготовки образцов. В настоящее время известно несколько основных подходов для решения такой задачи: кислотный и щелочной гидролиз. В данной статье проведено сравнение методов анализа аминокислот с их пред- и постколоночной дериватизацией на примере определения содержания лизина в образцах сульфата лизина с известным содержанием целевого вещества. Для предколоночной дериватизации использовали ортофталевый ангидрид, и нингидрин для постколоночной дериватизации. Экспериментально нами было показано преимущество использования постколоночной дериватизации, т.к. были получены более точные результаты. Хроматографическое разделение, дериватизацию и детектирование выполняли на аминокислотных анализаторах фирм Hitachi (Япония) и Sykam (Германия). Далее были рассмотрены виды пробоподготовки белковых и пептидных препаратов с последующим определением в них валина и треонина методом постколоночной дериватизации. Изучено влияние метода доведения pH до 2.2 после кислотного гидролиза. Добавление щелочи к жидкому образцу показало лучшие результаты, чем метод упаривания и перерастворения образца в буфере с соответствующим pH. В итоге, для анализа исследуемых препаратов был выбран оптимальный подход для определения аминокислот в гидролизатах белков. Полученные данные сравнивали с данными, полученными в европейской аккредитованной лаборатории.

Ключевые слова: аминокислоты, высокоэффективная жидкостная хроматография, ионообменная хроматография, капиллярный электрофорез, аминокислотный анализ, кислотный гидролиз

Existing problems and ways of their solution in the analysis of amino acid composition

Artem P. Sanzheev [1] a.sanzheev@sevko.net
Aleksandra A. Mikhina [1] mikhina@sevko.net
Daria A. Sevko [1] daria@sevko.net
Alexander V. Sevko [1] alexander@sevko.net
Sergey B. Vorozheykin [2] deliverer@mail.ru
Ekaterina P. Anokhina [3] katya_anoh@mail.ru
Alisa A. Korotaeva [3] alisa-korotaeva@mail.ru

[1] Research and development “Sevko&Co”, Moscow, Russia, 117246, Naychniy proezd, 20-9
[2] Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov, Elista, Russia
[3] Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. For obtain accurate aminoacids analysis results for peptide samples it is need to pay attention for method of analysis and method of sample preparation. Now some samplpreparation methods are known: acid and basic hydrolysis. In this article the comparison of two methods of aminoacids analysis were observed: pre-column or post-column derivatization. Analysis of lysine in lysine sulphate was studied, results were compared with control samples. For pre-column derivatization o-phthalic anhydride was used, and for post-column derivatization ninhydrin reagent was used. In experimental part advantages of post-column derivatization was shown and more accurate results were obtained. Chromatographic separation, derivatization and detection were carried out on aminoacids analisators Hitachi (Japan) и Sykam (Germany). Samplepreparation methods were observed on valine and threonine analysis using postcolumn derivatization with ninhydrin reagent. The effect of pH adjustment after acid hydrolysis was studied. Basic solution addition best results in comparison with sample evaporation and reconstitution were shown. For final sample analysis optimal methods of analysis and samplepreparation were chosen. Results were compared with results of European Accredited Laboratory.

Keywords: amino acids, high-efficiency liquid chromatography, ion-exchange chromatography, capillary electrophoresis, amino acid analysis, acid hydrolysis Amino acids, high-efficiency liquid chromatography, ion-exchange chromatography, capillary electrophoresis, amino acid analysis, acid hydrolysis

Для цитирования

Санжеев А.П., Михина А.А., Севко Д.А., Севко А.В., Ворожейкин С.В., Анохина Е.П., Коротаева А.А. Существующие проблемы и пути их решения при анализе аминокислотного состава // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 185–189. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-185-189

For citation

Sanzheev A.P., Mikhina A.A., Sevko D.A., Sevko A.V., Vorozheykin S.V., Anokhina E.P., Korotaeva A.A. Existing problems and ways of their solution in the analysis of amino acid composition. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 185–189. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-185-189

Введение

Аминокислоты играю огромную роль в процессах жизнедеятельности живых организмов, являясь структурной единицей белков. Они отвечают за транспорт и хранение питательных веществ, функционирование и восстановление различных тканей, в том числе мышц, костей, волос. В природе обнаружено уже более 700 аминокислот, 21 из них протеиногенная, то есть кодируется генетическим кодом.

Анализ аминокислот важен для различных областей: пищевой промышленности, производства лекарств, клинических анализов и т. д. Среди большого числа разработанных подходов (тонкослойная, ионообменная, газовая хроматография) наиболее чувствительными являются методики, основанные на хроматографическом разделении целевых аналитов с использованием различных видов дериватизации: пред- и постколоночной. Использование дериватизирующих агентов позволяет решить проблемы, возникающие при их хроматографическом разделении:

— высокая полярность молекул аминокислот за счет наличия карбоксильной и аминогрупп не позволяет разделить их хроматографически без использования ионообменных неподвижных фаз;

— низкие коэффициенты поглощения аминокислот в ультрафиолетовой области [1] затрудняют их детектирование и не позволяют достичь низких пределов обнаружения.

При предколоночной дериватизации используют ортофталевый ангидрид (рисунок 1), а дериватизаты после ВЭЖХ-разделения детектируют с использованием УФ-детектора. Недостатком этого метода является наблюдаемое в ряде случаев разложение дериватизатов до завершения анализа.

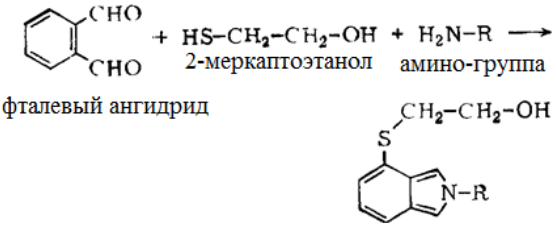


Рисунок 1. Реакция фталевого ангидрида с аминогруппой аминокислот

Figure 1. The reaction of the phthalic anhydride with amino acid group

При постколоночной дериватизации в качестве реагента используют нингидрин (рисунок 2), позвляющий получить стабильные дериватизаты после разделения аминокислот на ионообменной колонке. Дериватизаты при этом детектируются спектрофотометрически.

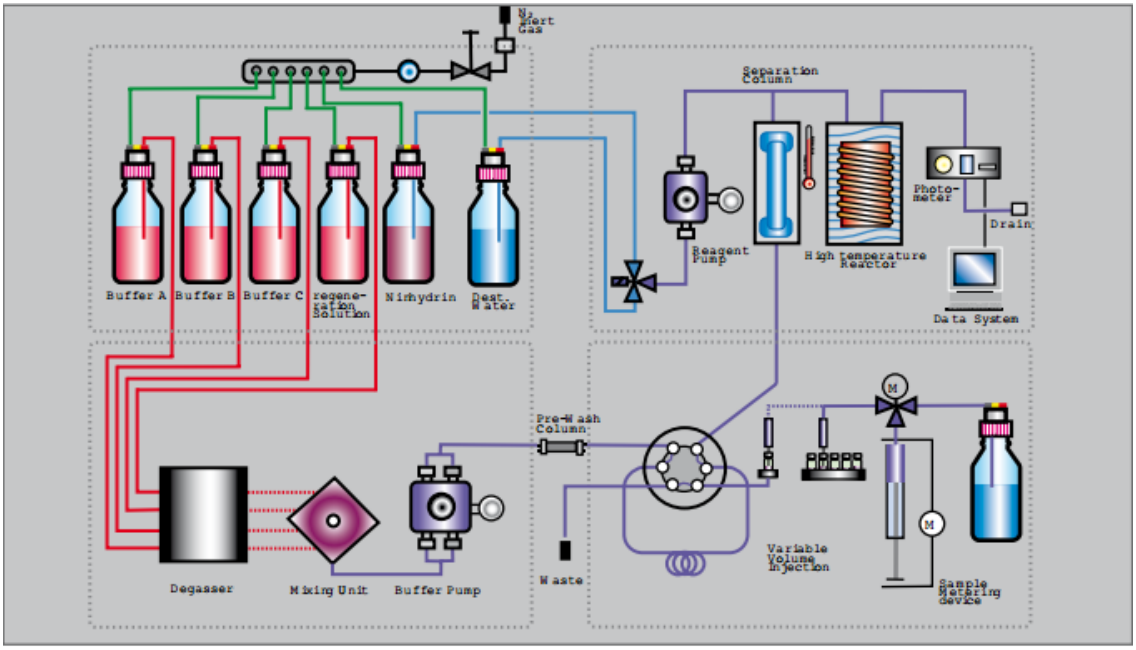


Рисунок 2. Постколоночная дериватизация аминокислот нингидрином

Figure 2. Post-column ninhydrin derivatization of aminoacids

Для анализа на аминокислотный состав белковых и пептидных препаратов важным является выбор пробоподготовки, необходимо сначала провести исчерпывающий гидролиз этих полимеров до отдельных аминокислот и учесть при этом все возможные потери.

Стандартная процедура разложения белка до аминокислот – кислотный гидролиз (6М раствор соляной кислоты при температуре 110 °С [1–6]) – позволяет в дальнейшем определить все аминокислоты, кроме серосодержащих (цистеин и метионин).

Серосодержащие аминокислоты при кислотном гидролизе частично разлагаются, поэтому для точного определения их количества в пробе необходимо предварительно перевести их в стабильные соединения (рисунок 3) – цистеиновую кислоту и метионинсульфон соответственно. Для этого проводят окисление указанных аминокислот путем охлаждения (0 – 5 ºС) с надмуравьиной кислотой в течение 18 ч. Далее уже можно проводить кислотный гидролиз и количественное определение цистеиновой кислоты и метионинсульфона с последующим пересчетом на исходные аминокислоты [1, 2, 5, 6].

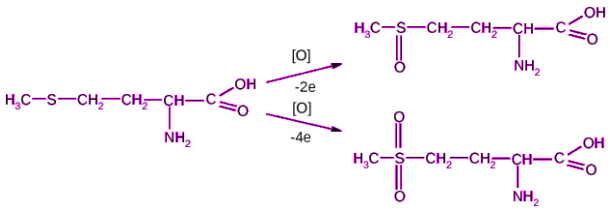


Рисунок 3. Реакция окисления метионина

Figure 3. Reaction of methionine oxidation

Отдельно отметим, что при кислотном гидролизе триптофан полностью разлагается, поэтому для его определения используют щелочной гидролиз (гидроксид бария, 110 ºС, 20 ч [7]).

Цель работы – сравнение методов с пред- и постколоночной дериватизацией на примере анализа образца сульфата лизина. Метод, который покажет наилучшую точность, будет в дальнейшем использован для отработки методов пробоподготовки образцов белков и пептидов на содержание валина и треонина.

Материалы и методы

Реактивы и материалы

Соляная кислота (ХИММЕД, ХЧ), гидроксид натрия (ВЕКТОН, ХЧ), гидроксид бария 8-водный (AppliChem Panreac, pure), дисульфит натрия (AppliChem Panreac, USP-NF, BP, Ph. Eur., pure, pharma grade), муравьиная кислота (ЗАО «База № 1 Химреактивов», 85%-ная), перекись водорода (ХИММЕД, 37%, мед), ортофосфорная кислота («КОМПОНЕНТ-РЕАКТИВ, особо чистая 12–3), набор буферов для аминокислотного анализа методом ВЭЖХ («Sevko&Co»), орто-фталевый ангидрид (Sigma aldrich, ACS reagent)

Оборудование

Анализатор аминокислотный HITACHI L-8900 (Япония); анализатор аминокислотный Sykam S 433 (Германия); хроматограф жидкостной 1290 Infinity II LC (Agilent Technologies, Германия); весы неавтоматического действия Mettler Toledo XPE 204 (Швейцария); электропечь сопротивления низкотемпературная лабораторная SNOL 67/350 (Литва)

Результаты и обсуждение

В образцах сульфата лизина было проведено определение содержания указанной аминокислоты в свободной форме. Как заявляет производитель, содержание лизина в продукте должно быть не меньше 55%. Испытания проводились двумя методами анализа: с пред- и постколоночной дериватизацией (таблица 1).

Таблица 1.

Результаты анализа сульфата лизина

Table 1.

Results of analysis of lysine sulfate

Название, номер пробы Sample name, sample number	Содержание лизина, % Lysine content, %					
	Дериватизация Derivatization				Европейская аккредитованная лаборатория [9] European Accredited Laboratory	Заявлено Control
	Пред-колоночная Pre-column	Δ от независимого определения Δ to control	Пост-колоночная [8] Post-column	Δ от независимого определения Δ to control		
Сульфат лизина № 1 Lysine sulphate № 1	42,5	16,3	56,1	2,8	58,8	≥55
Сульфат лизина № 2 Lysine sulphate № 2	49,8	6,4	54,9	1,3	56,2	≥55
Сульфат лизина № 3 Lysine sulphate № 3	50,9	7,0	58,3	0,4	57,9	≥55

Экспериментально показано, что при постколоночной дериватизации результаты согласуются с теми, что измерены в независимой Европейской аккредитованной лаборатории. Таким образом, этот метод был выбран для дальнейшей работы.

Для определения оптимальной пробоподготовки образцов белков и пептидов на валин и треонин в качестве первой стадии был выбран кислотный гидролиз, т. к. целевые аналиты не являются серосодержащими и не требуется определения триптофана.

После процесса кислотного гидролиза перед анализом pH в образце необходимо довести до 2,2. Для этого возможно использование двух подходов:

– полностью выпарить соляную кислоту и перерастворить образец в буфере с соответствующим pH;

– довести pH в образце после гидролиза до нужного значения путем добавления щелочи.

Экспериментально было установлено, что при использовании первого подхода гидрофобные аминокислоты (например, валин) не полностью перерастворяются после упаривания, и итоговые результаты анализа получаются заниженными (таблица 2). Предположительно, это связано с частичным «запеканием» целевых аналитов с углеводами.

Второй же подход, несмотря на большой расход дополнительного реактива (0,3 г щелочи на 1 пробу), дает более точные результаты.

Таблица 2.

Сравнение результатов разных способов пробоподготовки

Table 2.

Comparison of results of different methods of sample preparation

Аминокислота в пробе Aminoacid in sample	Содержание аминокислот, % Aminoacids content, %				Европейская аккредитованная лаборатория [9] European Accredited Laboratory
	Метод перерастворения Reconstitution method	Δ от независимого определения Δ to control	Метод добавки щелочи Basic addition method	Δ от независимого определения Δ to control	
Валин Valine	0,64	0,33	0,96	0,01	0,97
Треонин Threonine	0,79	0,05	0,84	0	0,84

Заключение

Проведено сравнение методов анализа аминокислот с пред- и постколоночной дериватизацией на примере определения содержания сульфата лизина. Экспериментально доказано преимущество использования постколоночной дериватизации с нингидрином.

Рассмотрены виды пробоподготовки для белковых и пептидных препаратов на примере валина и треонина. Показано, что для дальнейшего определения аминокислот важным является выбранный подход для доведения pH до 2,2. Оптимальным является добавление щелочи (вместо использования выпаривания и перерастворения).

ЛИТЕРАТУРА

1 Fallon A., Booth R.G.F., Bell L.D. Applications of HPLC in Biochemistry. Elsevier Science Publicher B.V. (Biomedical Division), 1987. 314 p.

2 Якубке Х.-Д., Ешкайт Х. Аминокислоты, пептиды, белки; под ред. Ю.В. Митина. М.: Мир, 1985. 455 с.

3 Joergensen L., Thestrup H.N. Determination of amino acids in biomass and protein samples by microwave hydrolysis and ion-exchange chromatography // Journal of Chromatography A. 1995. № 1-2. P. 421–428.

4 Csapo J., Kiss-Csapo Z., Albert C., Loki K. Hydrolysis of proteins performed at high temperatures and for short times with reduced racemization, in order to determine the enantiomers of D- and L-amino acids // Acta Univ. Sapientiae, Alimentaria. 2008. № 1. P. 31–48.

5 Boardman N.K. Ion-Exchange Chromatography // In: Biemann K. et al. Modern Methods of Plant Analysis. Moderne Methoden der Pflanzenanalyse. Berlin, Heidelberg: Springer, 1962. V. 5. P. 159–204.

6 Fountoulakis M., Lahm H.-W. Hydrolysis and amino acid composition analysis of proteins // Journal of Chromatography A. 1998. № 795 (2). P. 263–275.

7 ГОСТ 13496.21–2015 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения лизина и триптофана. М.: Стандартинформ, 2016.

8 ГОСТ 33428–2015. Корма, премиксы. Определение содержания лизина, метионина и треонина. М.: Стандартинформ, 2016.

9 Commission Regulation (EC) No. 152/2009 of 27 January 2009 laying down the methods of sampling and analysis for the official control of feed.

REFERENCES

1 Fallon A., Booth R.G.F., Bell L.D. Applications of HPLC in Biochemistry. Elsevier Science Publicher B.V. (Biomedical Division), 1987. 314 p.

2 Jakubke H.-D., Eshkite H. Aminoacids, peptides, proteins. Moscow, Mir, 1985. 455 p. (in Russian).

3 Joergensen L., Thestrup H.N. Determination of amino acids in biomass and protein samples by microwave hydrolysis and ion-exchange chromatography. Journal of Chromatography A. 1995. no. 1-2. pp. 421–428.

4 Csapo J., Kiss-Csapo Z., Albert C., Loki K. Hydrolysis of proteins performed at high temperatures and for short times with reduced racemization, in order to determine the enantiomers of D- and L-amino acids. Acta Univ. Sapientiae, Alimentaria. 2008. no. 1. pp. 31–48.

5 Boardman N.K. Ion-Exchange Chromatography. In: Biemann K. et al. Modern Methods of Plant Analysis. Moderne Methoden der Pflanzenanalyse. Berlin, Heidelberg, Springer, 1962. vol. 5. pp. 159–204.

6 Fountoulakis M., Lahm H.-W. Hydrolysis and amino acid composition analysis of proteins. Journal of Chromatography A. 1998. no. 795 (2). pp. 263–275.

7 GOST 13496.21–2015. Korma, kombikorma, kombikormovoe syr'e. Metody opredeleniya lizina i triptofana [State Standard 13496.21–2015. Feeds, mixed feeds and raw material. Methods for determination of lisin and tryptophane]. Moscow, Standardinform, 2016. (in Russian).

8 GOST 33428–2015. Korma, premiksy. Opredelenie soderzhaniya lizina, metionina i treonina [State Standard 33428–2015. Feeds, premixtures. Determination of lysine, methionine and threonine]. Moscow, Standardinform, 2016. (in Russian).

9 Commission Regulation (EC) No. 152/2009 of 27 January 2009 laying down the methods of sampling and analysis for the official control of feed.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Артем П. Санжеев инженер-химик, НПК «Sevko&Co», Научный проезд 20, стр. 9, г. Москва, 117246, Россия, a.sanzheev@sevko.net

Александра А. Михина инженер, , НПК «Sevko&Co», Научный проезд 20, стр. 9, г. Москва, 117246, Россия, mikhina@sevko.net

Дарья А. Севко к.х.н., химик, НПК «Sevko&Co», Научный проезд 20, стр. 9, г. Москва, 117246, Россия, daria@sevko.net

Александр В. Севко руководитель, НПК «Sevko&Co», Научный проезд 20, стр. 9, г. Москва, 117246, Россия, alexander@sevko.net

Сергей Б. Ворожейкин к.х.н., доцент, кафедра химии, Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова, г. Элиста, ул. Пушкина, 11, Россия, deliverer@mail.ru

Екатерина П. Анохина к.т.н., инженер-исследователь, Центр коллективного пользования «Контроль и управление энергоэффективных проектов», Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, katya_anoh@mail.ru

Алиса А. Коротаева к.т.н., инженер-исследователь, Центр коллективного пользования «Контроль и управление энергоэффективных проектов», Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, alisa-korotaeva@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 04.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 16.10.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Artem P. Sanzheev chemical engineer, research and development “Sevko&Co”, Moscow, Russia, a.sanzheev@sevko.net

Aleksandra A. Mikhina engineer, research and development “Sevko&Co”, Moscow, Russia, mikhina@sevko.net

Daria A. Sevko Cand. Sci. (Chem.), chemist, research and development “Sevko&Co”, Moscow, Russia, daria@sevko.net

Alexander V. Sevko director, Research and development “Sevko&Co”, Moscow, Russia, alexander@sevko.net

Sergey B. Vorozheykin Cand. Sci. (Chem.), associate professor, chemestry department, Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov, Elista, Russia, deliverer@mail.ru

Ekaterina P. Anokhina Cand. Sci. (Engin.), engineer-researcher, Center for Collective Use "Monitoring and Management of Energy Efficient Projects", Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, katya_anoh@mail.ru

Alisa A. Korotaeva Cand. Sci. (Engin.), engineer-researcher, Center for Collective Use "Monitoring and Management of Ener-gy Efficient Projects", Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, alisa-korotaeva@mail.ru

CONTRIBUTION

All authors equally took part in writing the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.4.2018

ACCEPTED 10.16.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 636.4.033

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-190-198

Влияние поликомпонентной бактериальной симбиотической субстанции на продуктивные показатели свиней и обмен веществ

Семен О. Бибиков [1] bibikovso@gmail.com
Сергей О. Шаповалов [1] s.shapovalov@cherkizovo.com
Елена В. Корнилова [1] e.kornilova@cherkizovo.com
Сергей Б. Ворожейкин [2] deliverer@mail.ru
Артем П. Санжеев [3] a.sanzheev@sevko.net
Александр В. Севко [3] alexander@sevko.net

[1] ООО НИЦ «Черкизово», г. Москва, Россия
[2] Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова, г. Элиста, Россия
[3] НПК «Sevko&Co», г. Москва, Россия

Аннотация. В последнее время все больше для лечения больных животных применяют препараты, содержащие бактерии и бифидогенные факторы. В статье приведены результаты изучения влияния поликомпонентной бактериальной симбиотической субстанции (ПКБСС) на продуктивные показатели свиней при интенсивной технологии выращивания. В экспериментальной работе использовались зоотехнические, клинические, гематологические, морфологические, физико-химические, методы исследований. Установлен эффект от введения ПКБСС тремя и четырьмя курсами. В состав входили лиофилизированные клетки штаммов лакто- и бифидобактерий Bifidobacterium bifidum и Lactobacillus bulgaricus. Использование вышеуказанных матриц способствовало снижению эндогенной интоксикации, нормализации активности маркерных трансаминаз, показателей белкового обмена и активизации энергетических процессов, повышении переваримости кормов и увеличении живой массы животных. На момент забоя средняя масса животных, которые принимали ПКБСС 3-мя курсами и 4-мя курсами, превышала массу животных контрольной группы животных на 7 кг (5,2%) и на 10,7 (7,9%). Добавка в рацион ПКБСС повысила переваримость сухого вещества корма на 3%. Сохранность поросят в опытных группах была выше по сравнению с контролем на 3,4-17,5%. Повышение переваримости органического вещества рациона у свиней опытных групп произошло за счет переваривания сырого протеина. Анализируя содержание лейкоцитов в крови показано, что применение ПКБСС оказывало явное стимулирующее действие на формирование белых клеток крови. В работе установлено, что у животных опытных групп на конец опыта уровень общего белка крови был выше, чем в контроле на 0,66 % и на 3,77 %. У животных опытных групп отмечено снижение активности маркерных трансаминаз: аланин-аминотрансферазы (АЛТ), аспартат-аминотрансферазы (АСТ), щелочной фосфатазы, лактат-дегидрогеназы (ЛДГ). Результаты исследований показывают, что микробиота кишечника с ее экзогенной коррекцией ПКБСС регулирует физиологические процессы организма животного, что проявляется в выраженных биологических эффектах, представленных в данной работе: увеличение живой массы и изменения биохимических реакций организма, снижении смертности и увеличении переваримости кормов.

Ключевые слова: бифидобактерии, лактобактерии, переваримость кормов, естественная резистентность, свиньи

Influence of multicomponent bacterial symbiotic substance on productive indices of pigs and metabolism

Semen O. Bibikov [1] bibikovso@gmail.com
Sergei O. Shapovalov [1] s.shapovalov@cherkizovo.com
Elena V. Kornilova [1] e.kornilova@cherkizovo.com
Sergey B. Vorozheykin [2] deliverer@mail.ru
Artem P. Sanzheev [3] a.sanzheev@sevko.net
Alexander V. Sevko [3] alexander@sevko.net

[1] SRC “Cherkizovo”, Moscow, Russia
[2] Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov, Elista, Russia
[3] Research and development “Sevko&Co”, Moscow, Russia

Abstract. Bacteria and bifidogenic drugs became more popular for animal’s treatment. The results of studying bacterial polycomponent symbiotic substance (PCBSS) effect on productive indicators of pigs with intensive cultivation technology was

Для цитирования

Бибиков С.О., Шаповалов С.О., Корнилова Е.В., Ворожейкин С.Б., Санжеев А.П., Севко А.В. Влияние поликомпонентной бактериальной симбиотической субстанции на продуктивные показатели свиней и обмен веществ // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 190–198. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-190-198

For citation

Bibikov S.O., Shapovalov S.O., Kornilova E.V., Vorozheykin S.B., Sanzheev A.P., Sevko A.V. Influence of multicomponent bacterial symbiotic substance on productive indices of pigs and metabolism. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 190–198. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-190-198

presented. Zootechnical, clinical, hematological, morphological, physico-chemical, research methods were used in experimental part. The effect of three and four course treatment with polycomponent bacterial symbiotic substance (PCBSS) was established. The lyophilized cells of lacto- and bifidobacteria Bifidobacterium bifidum and Lactobacillus bulgaricus was included in this drug. Due to this treatment the reduction of endogenous intoxication by metabolites of various genesis and normalization of the activity of marker transaminases, protein metabolism, activation of energy processes, increase digestibility of feed and increase animals mass were observed. To the moment of animals butchering the average mass of animals after 3 and 4 courses PKBSS exceeded the weight of animals in the control group by 7 kg (5.2%) and 10.7 (7.9%), respectively. The digestibility of dry matter feed by 3% was increased by PCBSS addition to the animals diet. The safety of pigs in the experimental groups was higher compared with the control by 3.4-17.5%. Due to the digestion of crude protein the digestion of organic matter was increased in experimental pigs groups. By leukocyte analysis in blood it was shown that use of PCBSS had a stimulating effect on the formation of white blood cells. At the end of the experiment it was found that for animals of the experimental groups the level of total blood protein was higher than in the control group by 0.66% and by 3.77%. Decreasing in the activity of marker transaminases: alanine aminotransferase (ALT), aspartate aminotransferase (AST), alkaline phosphatase, lactate dehydrogenase (LDH) was observed in experimental groups. The intestinal microbiota with its exogenous correction by PCBSS regulates the physiological processes of the animal, and this was confirmed by an increasing of animals body weight and changes in the biochemical reactions, by decreasing in mortality and by increasing in feed digestibility.

Keywords: bifidobacteria, lactobacilli, feed digestibility, natural resistance, pigs

Введение

В свиноводстве широкое распространение приобрели разные стимуляторы роста, премиксы и другие биологически активные вещества натурального или синтетического происхождения, которые способны активно влиять на метаболизм и обеспечивать высокий уровень продуктивности [2, 5]. Но они могут приводить к ухудшению качества животноводческой продукции. В интенсивном промышленном свиноводстве антибиотики могут использоваться в субтерапевтических дозах для защиты от возникновения желудочно-кишечных заболеваний, но в то же время они являются и стимуляторами роста. Значительная проблема использования антибиотиков в кормлении животных – их остатки в продуктах животного происхождения (мясо, молоко, яйца и др.) [6, 9]. На этом фоне применение биологически безопасных препаратов – пробиотиков, пребиотиков и сорбирующих препаратов становится приоритетной задачей в отрасли свиноводства. Они способствуют восстановлению пищеварения, биологического статуса, иммунного ответа у продуктивных животных, повышают эффективность вакцинации, возобновляют нормобиоценозы, при этом продукты животноводства остаются экологически чистыми и безвредными [1, 4, 11, 12]. При их применении снижается заболеваемость, количество фармакологических обработок и связанные с ними материальные издержки. Имеются убедительные данные об антагонистической активности пробиотических культур по отношению к патогенной микрофлоре [3, 7, 8, 10, 13].

Цель работы – изучение влияния поликомпонентной бактериальной симбиотической субстанции на организм свиней в процессе их выращивания.

Материалы и методы

Исследования проводились в ЗАО «Кузнецовский комбинат», входящем в ПАО «Черкизово». В опытах использовали поликомпонентную симбиотическую бактериальную субстанцию (ПКБСС), в состав которой входили лиофилизированные клетки штаммов лакто- и бифидобактерий *Bifidobacterium bifidum* $1 \cdot 10^6$ м.т./см^3, и *Lactobacillus bulgaricus* $1 \cdot 10^7$ м.т./см^3.

При изучении влияния ПКБСС на физиологические функции организма при использовании его в трех курсах брали свиней средним весом 25 кг в возрасте 60 сут, которые были разделены на группы – опытную и контрольную. Опытной группе к основному рациону вводили ПКБСС тремя курсами. Один курс составлял дачу субстанции в течение 7 сут в дозе 0,015 г/кг 1 раз в сутки. Перерыв между курсами длился 3 недели.

При изучении влияния ПКБСС на организм при использовании его в четырех курсах брали свиней средним весом 25 кг в возрасте 60 сут, разбитых на группы, как и в первом опыте. Опытная группа к основному рациону получала ПКБСС четырьмя курсами. Один курс составлял дачу субстанции в течение 7 сут в дозе 0,015 г/кг 1 раз в сутки. Перерыв между курсами длился 4 недели.

Чтобы проследить скорость и интенсивность роста поросят всех групп, был рассчитан абсолютный среднесуточный и относительный прирост массы тела, коэффициенты переваримости питательных веществ.

Результаты и обсуждение

Одним из главных показателей, характеризующих состояние метаболических процессов в условиях физиологически активных регуляторов, являются показатели живой массы, среднесуточные абсолютные и относительные приросты живой массы животного. С этой

целью было изучено влияние ПКБСС на организм подопытных животных при использовании его тремя и четырьмя курсами. Результаты опытов при использовании препарата ПКБСС тремя курсами приведены в таблице 1. Показано, что живая масса поросят в опытной и контрольной группах с возрастом увеличивалась. Так, сравнивая живую массу в начале опыта и на конец периода выращивания (200-е сут эксперимента), живая масса поросят опытной группы увеличилась в 5,7 раза. Масса животных контрольной группы увеличилась в 5,3 раз.

Самую высокую живую массу в течение всего опыта, периода выращивания и на момент забоя имели поросята опытной группы (141,8 кг). Наименьшая живая масса была у поросят в контрольной группе (134,8 кг), которые не получали ПКБСС помимо стандартного рациона.

Сравнивая живую массу животных опытной и контрольной групп на момент забоя, можно отметить, что средняя масса животных опытной группы превышала массу в группе контроля на 7 кг.

В процентном пересчете масса животных опытной группы превышала массу животных в контроле на 5,2%.

Таблица 1.

Динамика живой массы поросят подопытных групп при использовании ПКБСС тремя курсами, кг (n = 30 в группе)

Table 1.

Dynamics of living mass of pigs of experimental groups, when using PKSS three courses, KG (N = 30 in Group)

Возраст, сут Age, day	Сутки опыта Experience day	Группы животных Animal groups	
		Контрольная Control	Опытная Experienced
60	0	25,5 ± 0,4	24,7 ± 0,8
70	10	32,1 ± 0,5	33,5 ± 0,4
80	20	39,4 ± 0,6	41,5 ± 0,7
91	31	47,2 ± 1,2	49,5 ± 1,2
101	41	57,6 ± 1,5	61,1 ± 1,3
114	54	68,3 ± 1,4	71,8 ± 1,8
125	65	77,3 ± 1,1	82,3 ± 1,2
135	75	85,5 ± 0,8	91,3 ± 1,1
146	86	95,3 ± 0,4	99,9 ± 1,5
156	96	103 ± 0,5	108,3 ± 1,4
167	107	111,3 ± 1,2	116,2 ± 1,5
179	119	119,8 ± 1,3	126,3 ± 1,4
190	130	127,8 ± 1,2	133,1 ± 0,6
200	140	134,8 ± 1,4	141,8 ± 1,3
% к контрольной группе % to the control group		100	100 (контроль control) + 5,2

Результаты опытов при использовании препарата ПКБСС четырьмя курсами приведены в таблице 2. Сравнивая живую массу животных опытной и контрольной групп на момент забоя можно отметить, что средняя масса животных опытной группы превышала массу в группе контроля на 10,7 кг. В процентном пересчете масса животных опытной группы превышала массу животных в контроле на 7,9%.

Таблица 2.

Динамика живой массы поросят подопытных групп при использовании ПКБСС четырьмя курсами, кг (n = 30 в группе)

Table 2.

Dynamics of living mass of pigs of experimental groups, when using PKSS four courses, KG (N = 30 in Group)

Возраст, сут. Age, day	Сутки опыта Experience day	Группы животных Animal groups	
		Контрольная Control	Опытная Experienced
60	0	24,1 ± 0,4	26,1 ± 0,9
70	10	32,1 ± 0,5	35,9 ± 1,3
80	20	39,4 ± 0,6	42,1 ± 1,5
91	31	47,2 ± 1,2	49,4 ± 1,2
101	41	57,6 ± 1,5	60,5 ± 1,2
114	54	68,3 ± 1,4	72,0 ± 1,2
125	65	77,3 ± 1,1	80,1 ± 1,3
135	75	85,5 ± 0,8	90,5 ± 0,4
146	86	95,3 ± 0,4	99,8 ± 0,9
156	96	103 ± 0,5	108,2 ± 0,5
167	107	111,3 ± 1,2	114,8 ± 0,8
179	119	119,8 ± 1,3	126,6 ± 0,5
190	130	127,8 ± 1,2	138,3 ± 0,4
200	140	134,8 ± 1,4	145,5
% к контрольной группе % to the control group		100	100 (контроль control) + 7,9

Среднесуточные абсолютные приросты массы поросят 1-й опытной группы (ПКБСС три курса) колебались от 772,0 до 1234,0 г, 2-й (ПКБСС четыре курса) – от 808,0 до 953,0 г, а контрольной группы от 700,0 до 1040,0 г. Можно отметить, что наименьший абсолютный прирост на конец опыта в среднем был у животных контрольной группы – 791,7±26,1 г. На конец эксперимента разница абсолютного прироста между группами с различной дачей ПКБСС относительно контроля была 39,0 и 86,9 г соответственно. При этом в процентном пересчете абсолютный прирост контрольных групп превышал контроль на 4,9 и 11,0%.

Максимальный относительный прирост у животных опытных групп был на 10-й день эксперимента и составлял от 26,6–30,24 (ПКБСС три курса) до 29,9–31,6% (ПКБСС четыре курса) соответственно. Затем интенсивность роста животных снижалась, и перед убоем этот показатель по группам в среднем составлял 13,2–13,4%.

В период опыта проводилась выбраковка животных. При вскрытии павших свиней ставили патологоанатомический диагноз. Основные болезни, при которых происходили изменения во внутренних органах, были такие: перикардит, токсическая дистрофия, пневмония и энтерит. Но в результате применения ПКБСС падеж свиней в опытных группах был меньше относительно контроля (таблица 3).

Показано, что наибольший падеж свиней происходил в контрольной группе и составил 10%, это больше, чем в 1-й и 2-й группах на 3,4 и 2,7% соответственно. Сохранность поросят в опытных группах была выше по сравнению с контролем на 3,4 и 17,5%.

Таблица 3.

Смертность и сохранность поросят за период выращивания (n = 30 в группе)

Table 3.

Mortality and safety of piglets for the period of cultivation (n = 30 in the group)

Показатели заболевания Indicators biseases	Группы животных Animal groups		
	Контрольная Control	Опытные (1-й опыт) *(ПКБСС три курса)* Experienced (1 experience) *(PCBSS three courses)*	Опытные (2-й опыт) *(ПКБСС четыре курса)* Experienced (2 experience) *(PCBSS four courses)*
Перикардит | Pericarditis	1	1	1
Пневмония | Pneumonia	–		
Токсичная дистрофия | Toxic dystrophy	–	0	
Энтерит | Enterit	2	1	
Смертность гол. | Mortality animal, %	3 10	2 6,6	1 3,3
Сохранность | Preservation, %	90	93,4	96,7

Был проведен опыт, где предполагалось определить фактическую переваримость и потребление питательных веществ из кормосмесей свиньями, которые получали кроме основного рациона еще и субстанцию ПКБСС.

Химический состав и содержание в потребленной кормосмеси питательных веществ представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Химический состав кормосмеси и среднесуточное потребление питательных веществ поросятами на откорме

Table 4.

The chemical composition of the feed mixture and average daily nutrient intake of piglets on the fattening

Питательное вещество Nutrient	Химический состав кормосмеси, %	Содержание питательных веществ (г), в разные периоды откорма Content of nutrients (g), in different periods of fattening						
		Доза корма 1,05 кг/гол (возраст 60 сут) Feed dose 1.05 kg / animal (age 60 days)	Доза корма 1,4 кг/гол (возраст 70 сут) Feed dose 1.4 kg / animal (age 70 days	Доза корма 1,8 кг/гол (возраст 80 сут) Feed dose 1.8 kg / animal (age 80 days)	Доза корма 1,95 кг/гол (возраст 90 сут) Feed dose 1.95 kg / animal (age 90 days)	Доза корма 2,3 кг/гол (возраст 100 сут) Feed dose 2.3 kg / animal (age 100 days)	Доза корма 2,6 кг/гол (возраст 114 сут) Feed dose 2.6 kg / animal (age 114 days	Доза корма 3 кг/гол (возраст 125–200 сут) Feed dose 3 kg / animal (age 125–200 days)
Сухое вещество Dry matter	82,8	869,4	1159,2	1490,4	1614,6	1904,4	2152,8	2484
Органическое вещество Organic matter	81,31	853,755	1138,34	1463,58	1585,55	1870,13	2114,06	2439,3
Сырой протеин Crude protein	14,2	149,1	198,8	255,6	276,9	326,6	369,2	426
Сырая клетчатка Crude Fiber	6,45	67,725	90,3	116,1	125,775	148,35	167,7	193,5
Сырой жир Crude fat	2,1	22,05	29,4	37,8	40,95	48,3	54,6	63
БЭВ nitrogen-free extractives	58,56	614,88	819,84	1054,08	1141,92	1346,88	1522,56	1756,8
Кальций Calcium	1	10,5	14	18	19,5	23	26	30
Фосфор Phosphorus	0,65	6,825	9,1	11,7	12,675	14,95	16,9	19,5
ОЭ, мДж Metabolic energy, MJ	–	17,2	20,2	26,6	32,8	39,5	39,9	39,9

В таблице 5 представлены данные по выделению кала. За учетный период в среднем в сутки поросята 1-й опытной группы (ПКБСС три курса) массой до 40 кг выделяли 3,7 кг кала, поросята 2-й опытной группы (ПКБСС четыре курса) – 3,5 кг кала. Наибольшее количество каловых масс выделяли поросята контрольной группы – 3,8 кг.

Поросята массой от 40 до 80 кг 1-й и 2-й опытных групп выделяли 5,1 кг кала за сутки в среднем. Наибольшее количество каловых масс выделяли поросята контрольной группы – 5,4 кг.

Поросята массой более 80 кг 1-й и 2-й опытных групп выделяли 6,7 кг каловых масс за сутки в среднем. Наибольшее количество каловых масс выделяли поросята группы контроля – 6,8 кг.

С учетом выделения каловых масс и химического состава поросята всех групп выделяли различное количество непереваренных питательных веществ. Данные по суточному выделению поросятами органических и минеральных веществ представлены в таблице 6.

Таблица 5.

Суточный выход экскрементов от одного поросенка в разные периоды откорма, кг (n = 30)

Table 5.

Daily output sludged from one piglet in different periods of fattening, KG (N = 30)

Группы животных Animal groups		Масса до 40 кг (Возраст 60–80 сут) Weight up to 40 kg (Age 60–80 days)	Масса 40–80 кг (Возраст 80–125 сут) Weight 40–80 kg (Age 80–125 days)	Масса больше 80 кг (Возраст 125–200 сут) Mass more 80 kg (Age 125–200 days)
Контроль Control		3,8 ± 0,05	5,4 ± 0,20	6,8 ± 0,15
Опыт Experience	1	3,7 ± 0,13	5,1 ± 0,15	6,7 ± 0,20
	2	3,5 ± 0,12	5,1 ± 0,14	6,7 ± 0,16

Таблица 6.

Выделено с калом поросятами подопытных групп (в среднем за сутки), г (n = 30)

Table 6.

Allocated with feces pigs experimental groups (on average per day), G (N = 30)

Показатели Indicators	Возраст, сут. Age, day	Группы животных Animal groups		
		Контроль Control	Опытная (1-й опыт) *(ПКБСС три курса)* Experienced (1 experience) *(PCBSS three courses)*	Опытная (2-й опыт) *(ПКБСС четыре курса)* Experienced (2 experience) *(PCBSS four courses)*
Сухое вещество Dry matter	70	366,31	331,53	330,37
	101	548,47	521,81	523,71
	190	685,09	660,74	658,26
Органическое вещество Organic matter	70	321,24	281,97	274,00
	101	477,63	425,08	409,93
	190	587,63	522,74	492,01
Сырой протеин Crude protein	70	23,50	17,49	16,00
	101	35,27	27,99	26,00
	190	46,01	35,02	29,01
Сырая клетчатка Crude Fiber	70	81,72	76,00	74,00
	101	132,92	122,05	115,05
	190	171,48	160,01	157,99
Сырой жир Crude fat	70	14,00	13,50	13,50
	101	19,50	19,00	17,00
	190	28,00	22,74	21,00
БЭВ nitrogen-free extractives	70	202,01	175,04	170,03
	101	289,98	256,04	252,00
	190	342,22	304,98	284,07

Вышеприведенные данные свидетельствуют, что с применением ПКБСС в рационе свиней 1-й и 2-й опытных групп, по сравнению с контрольной группой, наблюдается тенденция к снижению сухого вещества в каловых массах. Так, применяя ПКБСС тремя курсами, содержание сухого вещества в кале свиней в 70-дневном возрасте снизилось относительно контрольной группы на 34,78 г, в возрасте 100 дней – на 26,66 г, в возрасте 125–200 дней – на 24,35 г.

В группе, где применяли ПКБСС четырьмя курсами, содержание сухого вещества в каловых массах свиней в 70-дневном возрасте было ниже по этому показателю, чем в контрольной группе, на 35,94 г, в возрасте 100 дней – на 24,76 г, в возрасте 125–200 дней – на 26,83 г.

Аналогичная закономерность наблюдается по количеству сырого протеина, сырой клетчатки, сырого жира и безазотистых экстрактивных веществ в каловых массах опытных животных.

Имеющаяся разница в выделении непереваренных питательных веществ из каловых масс при одинаковом их поступлении в организм свиней позволила рассчитать коэффициенты переваримости (таблица 7).

Таблица 7.

Коэффициенты переваримости питательных веществ кормосмеси поросятами подопытных групп, % (n = 30)

Table 7.

Coefficients of digestibility of nutrients feed mixture piglets of experimental groups, % (n = 30)

Показатели Indicators	Возраст, сут. Age, day	Группы животных Animal groups		
		Контроль Control	Опытная (1-й опыт) *(ПКБСС три курса)* Experienced (1 experience) *(PCBSS three courses)*	Опытная (2-й опыт) *(ПКБСС четыре курса)* Experienced (2 experience) *(PCBSS four courses)*
Сухое вещество Dry matter	70	68,4	71,4	71,5
	101	71,2	72,6	72,5
	190	72,4	73,4	73,5
Органическое вещество Organic matter	70	71,8	75,2	75,9
	101	74,5	77,3	78,1
	190	75,9	78,6	79,8
Сырой протеин Crude protein	70	88,2	91,2	92,0
	101	89,2	91,4	92,0
	190	89,2	91,8	93,2
Сырая клетчатка Crude Fiber	70	9,5	15,8	18,1
	101	10,4	17,7	22,5
	190	11,4	17,3	18,4
Сырой жир Crude fat	70	52,4	54,1	54,1
	101	59,6	60,7	64,8
	190	55,6	63,9	66,7
БЭВ nitrogen-free extractives	70	75,4	78,7	79,3
	101	78,4	81,0	81,3
	190	80,5	82,6	83,8

Переваримость питательных веществ, кормов, поступающих в организм, во многом зависит от энзимной активности желез внутренней секреции, секреторной функции отделов желудочно-кишечного тракта и отдельных органов, но, по нашему мнению, микрофлора, которая входит в состав ПКБСС, с помощью бактериальных ферментов также улучшает переваримость.

При скармливании поросятам только полнорационного комбикорма (контрольная группа) переваримость сухого вещества кормосмеси находилась на уровне 68,4%, добавка в рацион ПКБСС тремя курсами (1-я группа) повышает его переваримость на 3%. Увеличение дачи ПКБСС повышало переваримость сухого вещества по контролю на 3,1%.

Аналогичная закономерность наблюдается и с органическим веществом. Если в 1-й группе его переваримость составила 75,2% и выросла на 3,4%, то во 2-й группе она выросла относительно контроля на 4,1%.

Повышение переваримости органического вещества у свиней исследованных групп произошло также за счет переваривания сырого протеина. Самая высокая переваримость протеина наблюдалась у 190-дневных свиней во 2-й группе и составила 92,0%.

Переваримость сырой клетчатки в опытных группах выросла на 5,9–12,1%, сырого жира – на 1,1–11,1%, БЭВ – на 2,1–3,9%.

В таблице 8 приведены данные по изменению общих показателей крови поросят, получавших кормосмеси с ПКБСС и без них (контроль), на момент забоя животных в возрасте 200 дней.

Таблица 8.

Общие клинические показатели крови свиней

Table 8.

General clinical indicators of pig blood

Показатель Indicators	Норма Norm	Группы животных Animal groups		
		Контроль Control	Опытная (1-й опыт) *(ПКБСС три курса)* Experienced (1 experience) *(PCBSS three courses)*	Опытная (2-й опыт) *(ПКБСС четыре курса)* Experienced (2 experience) *(PCBSS four courses)*
Гемоглобин, г/л | Hemoglobin, g / l	90–110	98,1 ± 1,45	105,4 ± 1,62	106,0 ± 2,60
Эритроциты, 10^{12}/л | Erythrocytes, 10^{12}/l	6,0–7,5	6,61 ± 0,12	7,09 ± 0,13	6,97 ± 0,19
Лейкоциты, 10^{9}/л | Leukocytes, 10^{9} / l	6,0–14,0	9,19 ± 0,16	12,01 ± 0,43	11,52 ± 0,35

Анализируя содержание лейкоцитов в крови по данным таблицы 9, выяснили, что применение ПКБСС оказывало явное стимулирующее действие на формирование белых клеток крови. Так, в крови животных, которым давали ПКБСС тремя и четырьмя курсами (группа № 1 и № 2), количество лейкоцитов было больше на 30,7 и 25,4% относительно контрольной группы.

В 1-й опытной группе количество гемоглобина увеличилось на 7,3%, во 2-й опытной группе – на 8,1% относительно контрольной группы. Данные результаты могут свидетельствовать о незначительном влиянии ПКБСС на уровень кроветворения.

В результате добавления ПКБСС в рацион свиней происходят изменения в поступлении основных питательных веществ – белков и жиров в кровь и лимфу. Изменения отдельных показателей белкового и липидного обмена могут быть маркированы по степени течения обменных процессов.

Таблица 9.

Общие биохимические показатели крови свиней при использовании ПКБСС

Table 9.

General biochemical indicators of pig blood when using PKBSS

Показатель Indicators	Группы животных Animal groups		
	Контроль Control	Опытная (1-й опыт) *(ПКБСС три курса)* Experienced (1 experience) *(PCBSS three courses)*	Опытная (2-й опыт) *(ПКБСС четыре курса)* Experienced (2 experience) *(PCBSS four courses)*
Общий белок | Total protein, g/L (total)	74,35 ± 1,38	80,72 ± 0,86	80,26 ± 1,4
Альбумины | Albumins, g/L	25,73 ± 0,16	25,9 ± 0,18	26,7 ± 2,4
Глобулины | Globulins, g / L – α	7,05 ± 0,10	7,1 ± 1,1	7,3 ± 1,2
Глобулины | Globulins, g / L – β	8,0 ± 0,18	8,2 ± 1,2	8,9 ± 0,4
Глобулины | Globulins, g / L – γ	15,8 ± 0,28	17,5 ± 0,6	17,5 ± 1,6

Установлено, что у животных 1-й опытной группы на конец опыта уровень общего белка был более высоким, чем в контроле, на 0,66%, у 2-й опытной группы – на 3,77%.

У свиней контрольной группы отмечалось увеличение в крови маркерных трансаминаз: аланин-аминотрансферазы (АЛТ), аспартат-аминотрансферазы (АСТ), щелочной фосфатазы, лактат-дегидрогеназы (ЛДГ).

По активности трансаминаз судят о направленности процессов переаминирования, имеющих важное значение в процессе обмена аминокислот и синтеза белка. Увеличение активности энзимов до предельно допустимых показателей вызывается повышением скорости их выведения и разрушением мембран гепатоцитов. В то же время активность АЛТ в отличие от активности АСТ, в клетках печени свиней низкая. Поэтому повышение или снижение активности этого фермента в сыворотке крови в патологии печени, даже при некрозе, незначительное. Так, активность АЛТ в сыворотке крови свиней контрольной группы была выше относительно 1-й группы в 1,63 раза, 2-й в 1,68 раз. Активность АСТ в 1-й и 2-й опытных группах была меньше, чем в контроле, в среднем в 1,05 и 1,1 раза соответственно.

Активность ЛДГ – гликолитического фермента, который катализирует обратную реакцию восстановления пировиноградной кислоты в молочную, в группе контроля была выше относительно 1-й и 2-й опытных групп в 1,18 раз.

Активность ЛФ в группе контроля была ниже, чем в других опытных группах, примерно в 1,1 раза, что может быть объяснено тем, что процессы фосфорилирования в исследуемых группах идут более активно и таким образом активируют энергетические процессы любых звеньев (как аэробные, так и анаэробные).

Заключение

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что использование вышеуказанных матриц ПКБСС способствовало снижению эндогенной интоксикации метаболитами различного генеза и, как следствие, нормализации активности маркерных трансаминаз, показателей белкового обмена и активизации энергетических процессов, что выразилось в повышении переваримости и увеличении живой массы животных.

Таким образом, можно предположить, что микробиота кишечника с ее экзогенной коррекцией ПКБСС регулирует физиологические процессы организма животного, что проявляется в выраженных биологических эффектах, представленных в данной работе: увеличение живой массы и изменение биохимических реакций организма свиней.

ЛИТЕРАТУРА

1 Забашта Н.Н., Головко Е.Н., Кощаев А.Г. Пробиотик, пребиотик и синбиотик в рационе свиней для получения органической свинины // Вестник АПК Ставрополья. 2017. № 2. С. 84–89.

2 Кононенко С.И. Актуальные проблемы организации кормления в современных условиях // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 115.

3 Кононенко С.И., Псхациева З.В., Юрина Н.А., Юрин Д.А. Производство свинины с использованием комплексов биологически активных добавок // Научная конференция с международным участием «Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука». Часть 3. М.: МГУПП, 2017. С. 36.

4 Коробов Д.В., Походня Г.С. Эффективность откорма свиней с введением в их рацион пробиотика «Гидролактив» // Проблемы и решения современной аграрной экономики. 2017. С. 27–28.

5 Основы полноценного кормления свиней; под. ред. Свеженцева А.И. Днепропетровск: Арт-Пресс, 2000. 360 с.

6 Хоченков А.А., Шамонина А.И., Джумкова М.В., Танана Л.А. Параметры качества и безопасности свинины, произведенной в условиях промышленной технологии // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2015. № 1. С. 180–195.

7 Dowarah R., Verma A.K., Agarwal N., Patel B.H.M. et al. Effect of swine based probiotic on performance, diarrhoea scores, intestinal microbiota and gut health of grower-finisher crossbred pigs // Livestock Science. 2017. V. 195. P. 74–79.

8 He Y., Mao C., Wen H., Chen Z. et al. Influence of ad libitum feeding of piglets with Bacillus subtilis fermented liquid feed on gut flora, luminal contents and health // Scientific reports. 2017. V. 7. P. 44553.

9 Conly J. Antimicrobial resistance in Canada // Canadian Medical Association Journal. 2002. V. 167. P. 885–891.

10 Kritas S.K. Probiotics and Prebiotics for the Health of Pigs and Horses // Probiotics and Prebiotics in Animal Health and Food Safety. Springer. 2018. С. 109–126.

11 Lan R., Tran H., Kim I. Effects of probiotic supplementation in different nutrient density diets on growth performance, nutrient digestibility, blood profiles, fecal microflora and noxious gas emission in weaning pig // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2017. V. 97. № 4. P. 1335–1341.

12 Liu W., Devi S., Park J., Kim I. Effects of complex probiotic supplementation in growing pig diets with and without palm kernel expellers on growth performance, nutrient digestibility, blood parameters, fecal microbial shedding and noxious gas emission // Animal Science Journal. 2018. V. 89. № 3. P. 552–560.

13 Yang J., Qian K., Wang C., Wu Y. Roles of Probiotic Lactobacilli Inclusion in Helping Piglets Establish Healthy Intestinal Inter-environment for Pathogen Defense // Probiotics and antimicrobial proteins. 2018. V. 10. № 2. P. 243–250.

REFERENCES

1 Zabashta N.N., Golovko E.N., Koshchaev A.G. Probiotic, prebiotic and synbiotic in the diet of pigs for organic pork. *Vestnik APK Stavropol'ya* [Bulletin of the APK of Stavropol]. 2017. no. 2. pp. 84–89. (in Russian).

2 Kononenko S.I. Actual problems of the organization of feeding in modern conditions. *Politematicheskij setevoj ehlektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University]. 2016. no. 115. (in Russian).

3 Kononenko S.I., Pskhacieva Z.V., Yurina N.A., Yurin D.A. Pork production using complexes of dietary supplements. Razvitie pishchevoj i pererabatyvayushchej promyshlennosti Rossii: kadry i nauka [Scientific conference with international participation "The development of food and processing industry in Russia: personnel and science." Part 3]. Moscow, Moscow University of Food Industry, 2017. pp. 36. (in Russian).

4 Korobov D.V., Pohodnya G.S. The effectiveness of fattening pigs with the introduction in their diet of probiotic "Gidrolaktiv". *Problemy i resheniya sovremennoj agrarnoj ehkonomiki* [Problems and solutions of the modern agrarian economy]. 2017. pp. 27–28. (in Russian).

5 Osnovy polnocennogo kormleniya svinej [Basics of full feeding pigs]. Dnepropetrovsk, Art Press, 2000. 360 p. (in Russian).

6 Hochenkov A.A., SHamonina A.I., Dzhumkova M.V., Tanana L.A. Parameters of quality and safety of pork produced under industrial technology. *Aktual'nye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva* [Actual problems of intensive development of livestock]. 2015. no. 1. pp. 180–195. (in Russian).

7 Dowarah R., Verma A.K., Agarwal N., Patel B.H.M. et al. Effect of swine based probiotic on performance, diarrhoea scores, intestinal microbiota and gut health of grower-finisher crossbred pigs. Livestock Science. 2017. vol. 195. pp. 74–79.

8 He Y., Mao C., Wen H., Chen Z. et al. Influence of ad libitum feeding of piglets with Bacillus subtilis fermented liquid feed on gut flora, luminal contents and health. Scientific reports. 2017. vol. 7. pp. 44553.

9 Conly J. Antimicrobial resistance in Canada. Canadian Medical Association Journal. 2002. vol. 167. pp. 885–891.

10 Kritas S.K. Probiotics and Prebiotics for the Health of Pigs and Horses. Probiotics and Prebiotics in Animal Health and Food Safety. Springer. 2018. pp. 109–126.

11 Lan R., Tran H., Kim I. Effects of probiotic supplementation in different nutrient density diets on growth performance, nutrient digestibility, blood profiles, fecal microflora and noxious gas emission in weaning pig. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2017. vol. 97. no. 4. pp. 1335–1341.

12 Liu W., Devi S., Park J., Kim I. Effects of complex probiotic supplementation in growing pig diets with and without palm kernel expellers on growth performance, nutrient digestibility, blood parameters, fecal microbial shedding and noxious gas emission. Animal Science Journal. 2018. vol. 89. no 3. pp. 552–560.

13 Yang J., Qian K., Wang C., Wu Y. Roles of Probiotic Lactobacilli Inclusion in Helping Piglets Establish Healthy Intestinal Inter-environment for Pathogen Defense. Probiotics and antimicrobial proteins. 2018. vol. 10. no 2. pp. 243–250.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Семен О. Бибиков старший специалист, направление испытания кормов и продуктов животного происхождения, ООО НИЦ «Черкизово», г. Москва, Россия, bibikovso@gmail.com

Сергей О. Шаповалов д.б.н., директор, ООО НИЦ «Черкизово», г. Москва, Россия, s.shapovalov@cherkizovo.com

Елена В. Корнилова к.с-х.н., руководитель направления испытания кормов и продуктов животного происхождения, ООО НИЦ «Черкизово», г. Москва, Россия, e.kornilova@cherkizovo.com

Сергей Б. Ворожейкин к.х.н., доцент, кафедра химии, Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова, г. Элиста, Россия, deliverer@mail.ru

Артем П. Санжеев инженер-химик, НПК «Sevko&Co», г. Москва, Россия, a.sanzheev@sevko.net

Александр В. Севко руководитель, НПК «Sevko&Co», г. Москва, Россия, alexander@sevko.net

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 14.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 08.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Semen O. Bibikov senior specialist, field of testing forage and animal products, LLC SRC "Cherkizovo", Moscow, Russia, bibikovso@gmail.com

Sergei O. Shapovalov Dr. Sci. (Biol.), director, LLC SRC "Cherkizovo", Moscow, Russia, s.shapovalov@cherkizovo.com

Elena V. Kornilova Cand. Sci. (Agr.), head of testing feeds and products of animal origin, LLC SRC "Cherkizovo", Moscow, Russia, e.kornilova@cherkizovo.com

Sergey B. Vorozheykin Cand. Sci. (Chem.), associate professor, chemestry department, Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov, Elista, Russia, deliverer@mail.ru

Artem P. Sanzheev chemical engineer, SRC "Cherkizovo", Moscow, Russia, a.sanzheev@sevko.net

Alexander V. Sevko director, SRC "Cherkizovo", Moscow, Russia, alexander@sevko.net

CONTRIBUTION

All authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.14.2018

ACCEPTED 11.8.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 664

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-199-202

Антиоксидантные свойства разных пектиносодержащих растворов

Анжелика А. Ашинова [1] divaa2012@yandex.ru

[1] Майкопский государственный технологический университет, ул. Первомайская, 191, г. Майкоп, 385000, Россия

Аннотация. На современном этапе задачами государственной политики является сохранение функций жизнеобеспечения для устойчивого развития общества, улучшения здоровья населения, залог экологической безопасности страны. Антиоксидантная активность проявляется в способности веществ останавливать развитие окисления органических и высокомолекулярных соединений, и тем самым снижать выход спиртов, гидроперекисей, жирных кислот, альдегидов и кетонов. Пектиновые вещества содержаться во всех растениях и некоторых водорослях и способны проявлять антиоксидантную активность. В статье приведены исследование антиоксидантной активности пектинов разной природы. Для определения антиоксидантной активности готовили водные растворы пектиновые веществ яблочного, цитрусового, свекловичного пектинов, их комбинаций в одинаковом соотношении с концентрацией 1%. По полученным данным, рассчитана величина содержания антиоксидантов для водных растворов пектиновых веществ и их комбинаций. По данным построена диаграмма антиоксидантной активности водных растворов пектиновых веществ и их комбинаций. Установлено увеличение антиоксидантной активности при комбинировании пектинов яблочного и цитрусового со свекловичным, что объясняется влиянием свекловичного пектина на свойства комбинируемых с ним веществ. Яблочный пектин не повышает антиоксидантную активность при комбинации с цитрусовым пектином, за счет своей химической и физиологической формы. Доказана способность пектинов проявлять антиоксидантную активность в зависимости от комбинирования пектинов. Установлено, что наибольшей антиоксидантной активностью обладает водный раствор свекловичного пектина. Причем, происходит увеличение антиоксидантной активности при комбинировании пектинов яблочного и цитрусового со свекловичным, что объясняется преимущественным влиянием свекловичного пектина на этот показатель.

Ключевые слова: пектин, антиоксидантные свойства, растворы, комбинации пектинов, природные полимеры

Antioxidant properties of different pectin-containing solutions

Anzhelika A. Ashinova [1] divaa2012@yandex.ru

[1] Maikop state University of technology, Pervomayskaya str., 191, Maikop, 385000, Russia

Abstract. At the present stage, the tasks of state policy is to preserve the functions of life support for the stable development of society, improving the health of the population, ensuring environmental safety of the country. Antioxidant activity is manifested in the ability of substances to delay the radical oxidation of organic and high-molecular compounds, and thereby reduce the yield of alcohols, hydroperoxides, fatty acids, aldehydes and ketones. Pectin substances are contained in all plants and some algae and are able to exhibit antioxidant activity. The article presents the study of antioxidant activity of pectin-containing solutions. To determine the antioxidant activity, aqueous solutions of pectin substances of Apple, citrus, beet pectin, their combinations with a concentration of 1% were prepared. According to the obtained data, the value of antioxidants for aqueous solutions of pectin substances and their combinations was calculated. According to the diagram of antioxidant activity of aqueous solutions of pectin substances and their combinations. An increase in antioxidant activity in the combination of Apple and citrus pectins with beet, which is explained by the influence of beet pectin on the properties of substances combined with it. Apple pectin does not increase antioxidant activity in combination with citrus pectin, due to its chemical and physiological form. The ability of pectins to show antioxidant activity depending on the combination of pectins is proved. It was found that the most antioxidant activity has an aqueous solution of beet pectin. Moreover, there is an increase in antioxidant activity when combining Apple and citrus pectins with beet, which is explained by the predominant effect of beet pectin on this indicator.

Keywords: pectin, antioxidant properties, solutions, pectin combinations, natural polymers

Введение

Одной из важнейших задач производственной программы РФ является рост производства пищевых продуктов высокого качества и их ассортимента. Необходимо внедрять прогрессивные технологии использования сельскохозяйственного сырья, вторичных сырьевых ресурсов. Производство и использование пектиновых веществ отражает поставленную задачу.

Пектиновые вещества содержатся во всех растениях и некоторых водорослях. В промышленности чаще всего встречаются пектины, полученные из яблочных выжимок, цитрусовых плодов, свекловичного жома, корзинок подсолнечника, на переработке которых основана пищевая промышленность. Получение и использование пектиновых веществ из растительных отходов основного производства является безотходной технологией.

Для цитирования

Ашинова А.А. Антиоксидантные свойства разных пектиносодержащих растворов // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 199–202. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-199-202

For citation

Ashinova A.A. Antioxidant properties of different pectin-containing solutions. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 199–202. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-199-202

Основной задачей государственной политики является сохранение функций жизнеобеспечения для стабильного развития общества, улучшения здоровья населения, обеспечения экологической безопасности страны.

Антиоксидантная активность проявляется в способности веществ задерживать течение радикального окисления органических и высокомолекулярных соединений, и тем самым снижать выход [3, 6, 7] продуктов этого окисления: спиртов, гидроперекисей, жирных кислот, альдегидов, кетонов. Антиоксидант соединяется со свободным радикалом и ставит заслон разрушительному действию лишнего электрона [4,10].

Доказано что, во время оксидантного стресса происходит изменение клеточных структур в организме человека [8, 9]. Поступление антиоксидантов с продуктами питания, лекарствами антиоксидантного действия, биологически активными добавками может свести к минимуму оксидативный стресс и значительно снизить степень его проявления в организме, которые происходят в результате отрицательного действия свободных радикалов [2].

Исследования подтверждают, что антиоксиданты помогают ускорить выздоровление, уменьшают уровень повреждения клеток и тканей, предотвращают окислительные реакции. Антиоксиданты эффективно противостоят инфекциям, сердечнососудистым заболеваниям, ряду раковых опухолей и многим другим болезням. Антиоксиданты не только увеличивают продолжительность жизни человека, но и повышают ее качество.

Водные растворы пектиновых веществ травянистых растений обладают выраженной антиоксидантной активностью, которая зависит от содержания в них соединений фенольной природы [4, 5].

Исследована антиоксидантная активность водных растворов свекловичного и яблочного пектина, выявлено, что антиоксидантная активность в водной среде выше у высокоочищенного свекловичного пектина, чем у яблочного [3].

Проведен сравнительный анализ антиоксидантной активности яблочного и виноградного пектина, выявлено, что антиоксидантная активность яблочного пектина больше [4], чем у виноградного на 10% [2].

В связи с этим представляет интерес исследование антиоксидантных свойств разных пектиновых веществ и их комбинаций для обоснования использования пектиновых веществ в разработке пленочных структур народно-хозяйственного назначения.

Пектиновые вещества широко распространены в природе. Они встречаются в плодах, соках, корнях, стеблях большинства растений [1]. Строение молекул пектинов, полученных из разных растительных источников, имеет свои отличительные признаки, характеризующиеся величиной молекулярной массы, степенью этерификации, наличием ацетилированных гидроксильных групп и т. д. Отличия в химических и физических свойствах пектинов, выделенных из разных источников сырья, будут отражаться на проявляемой ими антиоксидантной активности.

Цель работы – анализ антиоксидантной активности водных растворов пектинов и их комбинаций. При анализе использовали пектиносодержащий раствор из разных образцов пектина для определения наилучшего образца.

Материалы и методы

Для определения антиоксидантной активности готовили водные растворы пектиновые веществ: яблочного (Я), цитрусового (Ц), свекловичного (С), их комбинаций (ЯЦ, ЯС, ЦС) с концентрацией 1%.

Результаты и обсуждение

По полученным данным (таблица 1) рассчитаем величину содержания антиоксидантов для водных растворов пектиновых веществ и их комбинаций:

$$САгр_{(яблочный)} = 1266{,}5360 \cdot 0{,}0013 - 0{,}1484 = 1{,}4980,$$

$$САгр_{(цитрусовый)} = 1050{,}4159 \cdot 0{,}0013 - 0{,}1484 = 1{,}2171,$$

$$САгр_{(свекловичный)} = 1775{,}0968 \cdot 0{,}0013 - 0{,}1484 = 2{,}1592,$$

$$САгр_{(яблочный + цитрусовый)} = 1006{,}8572 \cdot 0{,}0013 - 0{,}1484 = 1{,}1605,$$

$$САгр_{(яблочный + свекловичный)} = 1454{,}7414 \cdot 0{,}0013 - 0{,}1484 = 1{,}7427,$$

$$САгр_{(цитрусовый + свекловичный)} = 1427{,}7045 \cdot 0{,}0013 - 0{,}1484 = 1{,}7076.$$

Полученные величины содержания антиоксидантов в мг/см^3:

$$СА_{(яблочный)} = 1{,}4980 \cdot 10 = 14{,}98,$$

$$СА_{(цитрусовый)} = 1{,}2171 \cdot 1 = 1{,}22,$$

$$СА_{(свекловичный)} = 2{,}1592 \cdot 10 = 21{,}59,$$

$$СА_{(яблочный + цитрусовый)} = 1{,}1605 \cdot 2 = 2{,}32,$$

$$СА_{(яблочный + свекловичный)} = 1{,}7427 \cdot 10 = 17{,}42,$$

$$СА_{(цитрусовый + свекловичный)} = 1{,}7076 \cdot 10 = 17{,}08.$$

Таблица 1.

Результаты полученных данных

Table 1.

Results of the data obtained

Наименование образца водного раствора Name of aqueous solution sample	Разбавление анализируемого образца, N Dilution of the analyzed sample, N	Площадь пиков, S, нА.с. Area peak, S, нА.с.	Время анализа, t, с. Time analysis, t, с.	Средняя площадь пиков, S, нА.с. Average area peak, S, нА.с.
Яблочный пектин Apple pectin	10	1313,14969 1269,89734 1248,58729 1261,10048 1239,94522	18,20768 47,79516 75,46230 102,56046 134,35277	1266,5360
Цитрусовый пектин Citrus pectin	1	1025,33366 1080,79913 1048,54384 1045,65007 1051,75298	23,32859 73,47084 123,25747 176,10242 235,27738	1050,4159
Свекловичный пектин Beetroot pectin	10	1842,68490 1801,90596 1764,18528 1730,04006 1736,66782	116,21622 150,92461 185,98862 217,21195 253,76956	1775,0968
Комбинация яблочного и цитрусового пектина Combination apple and citrus pectin	2	1004,43089 1011,83652 1020,88434 999,75864 997,37579	208,39260 287,48222 352,91607 428,59175 516,35846	1006,8572
Комбинация яблочного и свекловичного пектина Combination apple and beetroot pectin	10	1473,76670 1413,09716 1412,79829 1539,62791 1434,41673	67,06970 107,89474 147,36842 186,27312 229,08962	1454,7414
Комбинация цитрусового и свекловичного пектина Combination citrus and beetroot pectin	10	1459,39451 1420,51893 1439,93922 1426,01848 1392,65128	99,00427 136,20199 170,76814 204,90754 237,83784	1427,7045

По данным таблицы 2 строим диаграмму антиоксидантной активности водных растворов пектиновых веществ и их комбинаций.

Диаграмма антиоксидантной активности пектиновых веществ и их комбинаций представлена на рисунке 1.

Таблица 2.

Содержание антиоксидантов исследуемых пектиновых веществ и их комбинаций

Table 2.

Antioxidant content of the studied pectin substances and their combinations

Наименование водного раствора Name of aqueous solution sample	Содержания антиоксидантов, САгр, мг/дм^3 Antioxidant content, Sagr, mg/dm^3	Средняя площадь пиков, S, нА.с. Average area peak, S, нА.с.	Антиоксидантная активность, СА, мг/см^3 Antioxidant activity, SA, mg/sm^3
Яблочный пектин | Apple pectin	1,4980	1266,5360	14,98
Цитрусовый пектин | Citrus pectin	1,2171	1050,4159	1,22
Свекловичный пектин | Beetroot pectin	2,1592	1775,0968	21,59
Комбинация яблочного и цитрусового пектина Combination apple and citrus pectin	1,1605	1006,8572	2,32
Комбинация яблочного и свекловичного пектина Combination apple and beetroot pectin	1,7427	1454,7414	17,43
Комбинация цитрусового и свекловичного пектина | Combination citrus and beetroot pectin	1,7076	1427,7045	17,08

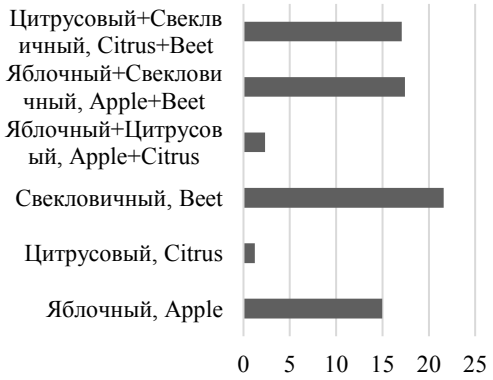


Рисунок 1. Диаграмма антиоксидантной активности пектиновых веществ и их комбинаций

Figure 1. Diagram of antioxidant activity of pectin substances and their combinations

Из рисунка 1 видно, что наибольшей антиоксидантной активностью обладает водный раствор свекловичного пектина.

Заключение

1. Установлено увеличение антиоксидантной активности при комбинировании пектинов яблочного и цитрусового со свекловичным, что объясняется влиянием свекловичного пектина на свойства комбинируемых с ним веществ.

2. Яблочный пектин не повышает антиоксидантную активность при комбинации с цитрусовым пектином из-за своей химической и физиологической формы.

3. Установлено, что наибольшей антиоксидантной активностью обладает водный раствор свекловичного пектина.

ЛИТЕРАТУРА

1 Хатко З.Н., Ашинова А.А. Биотехнологический потенциал различных видов пектиновых веществ и их комбинаций // Актуальная биотехнология. 2018. № 3 (26). С. 461–463.

2 Ефремов А.А., Кондратюк Т.А. Выделение пектина из нетрадиционного растительного сырья и применение его в кондитерском производстве // Химия растительного сырья. 2008. № 4. С. 171–176.

3 Оводов Ю.С. Современные представления о пектиновых веществах // Биоорганическая химия. 2009. Т.5. № 3. С. 293–310.

4 Хатко З.Н. Исследование элементного состава пектиновых пленок // Вестник ВГУИТ. 2012. № 4 (54). С. 74–78.

5 Naqash F., Masoodi F.A., Rather S.A., Wani S.M. et al. Emerging concepts in the nutraceutical and functional properties of pectin—A Review // Carbohydrate polymers. 2017. V. 168. P. 227–239.

6 Reque P.M., Steffens R.S., Jablonski A., Flores S.H. et al. Cold storage of blueberry (*Vaccinium spp*.) fruits and juice: Anthocyanin stability and antioxidant activity // Journal of Food Composition and Analysis. 2014. V. 33. № 1. P. 111–116. doi: 10.1016/j.jfca.2013.11.007

7 Moo-Huchin V.M., Leon R.J.E., Moo-Huchin M.I., Cuevas-Glory L. et al. Antioxidant compounds, antioxidant activity and phenolic content in peel from three tropical fruits from Yucatan, Mexico // Food chemistry. 2015. V. 166 P. 17–22.

8 Zou Z., Xi W., Hu Y., Nie C.et al. Antioxidant activity of Citrus fruits // Food Chemistry. 2016. V. 196. P. 885–896.

9 Apak R. et al. Antioxidant activity/capacity measurement. 1. Classification, physicochemical principles, mechanisms, and electron transfer (ET)-based assays // Journal of agricultural and food chemistry. 2016. V. 64. № 5. P. 997–1027. doi: 10.1021/acs.jafc.5b04739

10 Martins N., Barros L., Ferreira I.C. In vivo antioxidant activity of phenolic compounds: Facts and gaps // Trends in Food Science & Technology. 2016. V. 48. P. 1–12.

REFERENCES

1 Khatco Z.N., Ashinova A.A. Biotechnological potential of different types of pectin and their combinations. *Aktual'naya biotekhnologiya* [Actual biotechnology]. 2018. no. 3 (26). pp. 461–463. (in Russian).

2 Efremov A.A., Kondratyuk T.A. Isolation of pectin from non-traditional vegetative raw materials and its application in the confectionery industry. *Himiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of vegetable raw materials]. 2008. no. 4. pp. 171–176. (in Russian).

3 Ovodov Yu.S. Modern views on pectin substances. *Bioorganicheskaya himiya* [Bioorganic chemistry]. 2009. vol. 5. no. 3. pp. 293–310. (in Russian).

4 Khatco Z.N. The study of the elemental composition of pectin films. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2012. no. 4 (54). pp. 74–78. (in Russian).

5 Naqash F., Masoodi F.A., Rather S.A., Wani S.M. et al. Emerging concepts in the nutraceutical and functional properties of pectin—A Review. Carbohydrate polymers. 2017. vol. 168. pp. 227–239.

6 Reque P.M., Steffens R.S., Jablonski A., Flores S.H. et al. Cold storage of blueberry (Vaccinium spp.) fruits and juice: Anthocyanin stability and antioxidant activity. Journal of Food Composition and Analysis. 2014. vol. 33. no. 1. pp. 111–116. doi: 10.1016/j.jfca.2013.11.007

7 Moo-Huchin V.M., Leon R.J.E., Moo-Huchin M.I., Cuevas-Glory L. et al. Antioxidant compounds, antioxidant activity and phenolic content in peel from three tropical fruits from Yucatan, Mexico. Food chemistry. 2015. vol. 166 pp. 17–22.

8 Zou Z., Xi W., Hu Y., Nie C.et al. Antioxidant activity of Citrus fruits. Food Chemistry. 2016. vol. 196. pp. 885–896.

9 Apak R. et al. Antioxidant activity/capacity measurement. 1. Classification, physicochemical principles, mechanisms, and electron transfer (ET)-based assays. Journal of agricultural and food chemistry. 2016. vol. 64. no. 5. pp. 997–1027. doi: 10.1021/acs.jafc.5b04739

10 Martins N., Barros L., Ferreira I.C. In vivo antioxidant activity of phenolic compounds: Facts and gaps. Trends in Food Science & Technology. 2016. vol. 48. pp. 1–12.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Анжелика А. Ашинова младший научный сотрудник, Кафедра технологии пищевых продуктов и организации питания, Майкопский государственный технологический университет, ул. Первомайская, 191, г. Майкоп, 385000, Россия, divaa2012@yandex.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Anzhelika A. Ashinova junior researcher, department food and nutrition technologies, Maikop state University of technology, Pervomayskaya str., 191, Maikop, 385000, Russia, divaa2012@yandex.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Анжелика А. Ашинова полностью подготовила рукопись и несет ответственность за плагиат

CONTRIBUTION

Anzhelika A. Ashinova fully prepared the manuscript and is responsible for plagiarism

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 11.09.2018
ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 31.10.2018

CONFLICT OF INTEREST

The author declares no conflict of interest.

RECEIVED 9.11.2018
ACCEPTED 10.31.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 577.16

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-203-208

Определение источников поступления диоксида серы в кондитерские изделия

Николай Б. Кондратьев [1] confect@mail.ru
Егор В. Казанцев [1]
Максим В. Осипов [1]
Оксана С. Руденко [1]
Эмилия Н. Крылова [1]

[1] Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности, ул. Электрозаводская, 20, стр. 3, г. Москва, 107023, Россия

Аннотация. Диоксид серы применяется для обеспечения сохранности фруктового сырья и полуфабрикатов, используемых для производства различных наименований кондитерских изделий. Данный консервант обладает аллергенными свойствами. В соответствии с Техническим регламентом таможенного союза ТР ТС 022/2011 «Пищевые продукты в части их маркировки» содержание диоксида серы необходимо указывать при маркировании кондитерских изделий, если его содержание превышает 10 мг на кг. Определение данного консерванта в сырье, полуфабрикатах и кондитерских изделиях в соответствии с действующим ГОСТ 26811 «Изделия кондитерские. Йодометрический метод определения массовой доли общей сернистой кислоты часто затруднено по причине многокомпонентности кондитерских изделий, образованию в процессе анализа интенсивной окраски исследуемых растворов и способности диоксида серы вступать в реакции с другими компонентами исследуемых объектов. Поэтому задача разработки методов с оптимизацией стадии пробоподготовки исследуемых образцов, позволяющих определить диоксид серы в кондитерских изделиях, полуфабрикатах и сырье является актуальной. Целью данной работы являлась разработка методики определения диоксида серы в сырье, полуфабрикатах и различных наименованиях кондитерских изделий, а также оценка влияния этих видов сырья и полуфабрикатов на содержание диоксида серы в кондитерских изделиях. Результаты исследований показали, что диоксид серы присутствует во многих сырьевых компонентах. Например, в сахаре белом содержится от 1 до 9 мг, в патоке от 25 до 52 мг, в муке пшеничной от 9 до 15 мг, в крахмале от 3 до 17 мг диоксида серы на 1 кг сырья. Во фруктовом сырье от 5 до 545 мг на кг. В кондитерских изделиях: зефире и пастиле от 8 до 29, пряниках от 6 до 25, печенье от 0 до 16, шоколаде от 8 до 13. На основании полученных данных можно сделать вывод, что содержание диоксида серы в сырье и полуфабрикатах кондитерского производства находится в очень широком диапазоне, что делает необходимым контроль качества всего поступающего на производство сырья. Диоксид серы, используемый в качестве консерванта для фруктового сырья, может существенно увеличивать содержание данного аллергена в кондитерских изделиях, изготовленных с использованием такого сырья. Обеспечение уровня содержания диоксида серы менее 10 мг/кг достигается использованием сырья с низким содержанием диоксида серы и технологическими приёмами.

Ключевые слова: диоксид серы, методы определения, сырьевые компоненты, кондитерские изделия, пробоподготовка

Determination of sources of sulfur dioxide in confectionery

Nikolai B. Kondratyev [1] confect@mail.ru
Egor V. Kazantsev [1]
Maxim V.Osipov [1]
Oksana S. Rudenko [1]
Emilia N. Krylova [1]

[1] All-Russian Scientific Research Institute of Confectionery Industry, Electrozavodskaya, 20, bld. 3, Moscow, 107023, Russia

Abstract. Sulfur dioxide is used to ensure the safety of fruit raw materials and semi-finished products used for the production of confectionery. This preservative has allergenic properties. In accordance with the Technical Regulations of the Customs Union TR CU 022/2011 "Food products in terms of their labeling" the content of sulfur dioxide must be specified when labeling confectionery products, if its content exceeds 10 mg per kg. The definition of this preservative in raw materials, semi-finished products and confectionery in accordance with the current GOST 26811 “Confectionery. The iodometric method for determining the mass fraction of total sulfuric acid is often difficult because of the complexity of confectionery products, the formation of intensive staining of the solutions under study and the ability of sulfur dioxide to react with other components of the objects under study. Therefore, the task of developing methods with the optimization of the sample preparation stage of the samples under study, which allow one to fully determine sulfur dioxide in confectionery products, semi-finished products and raw materials, is relevant. The purpose of this work was to develop methods for determining sulfur dioxide in raw materials, semi-finished products and various names of confectionery products, as well as assessing the impact of these types of raw materials and semi-finished products on the content of sulfur dioxide in confectionery products. The results showed that sulfur dioxide is present in many raw materials. In mg per 1 kg of sugar in white sand from 1 to 9, molasses from 25 to 52, wheat flour from 9 to 15, starch from 3 to 17. In fruit raw materials from 5 to 545 mg per kg. In confectionery: marshmallow and marshmallow from 8 to 29, gingerbread from 6 to 25, biscuits from 0 to 16, chocolate from 8 to 13. Based on the data obtained, it can be concluded that the content of sulfur dioxide in raw materials and semi-finished confectionery products is a very wide range, which makes it necessary to control the quality of all raw materials entering the production. Sulfur dioxide, used as a preservative for fruit raw materials, can significantly increase the content of this allergen in confectionery made using such raw materials. Ensuring the level of sulfur dioxide less than 10 mg / kg is achieved using raw materials with low content of sulfur dioxide and technological methods.

Keywords: sulfur dioxide, determination methods, raw materials, confectionery, sample preparation

Для цитирования

Кондратьев Н.Б., Казанцев Е.В., Осипов М.В., Руденко О.С., Крылова Э.Н. Определение источников поступления диоксида серы в кондитерские изделия // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 203–208. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-203-208

For citation

Kondratyev N.B., Kazantsev E.V., Osipov M.V., Rudenko O.S., Krylova E.N. Determination of sources of sulfur dioxide in confectionery. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 203–208. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-203-208

Введение

В кондитерской отрасли используется сырьё и полуфабрикаты с длительными сроками годности, обеспечиваемыми наличием консервантов, например, сорбиновой и бензойной кислотами, диоксидом серы. Для определения диоксида серы в кондитерских изделиях, изготовленных с использованием фруктового (ягодного) сырья и пиросульфита, используют ГОСТ 26811 «Изделия кондитерские. Йодометрический метод определения массовой доли общей сернистой кислоты».

Применение диоксида серы обусловлено, в первую очередь, способностью к антимикробным и антиоксидантным свойствам, предотвращением потемнения фруктовых тканей сырья с сохранением в течение длительного времени натурального цвета фруктового сырья [1, 2].

Особенностью кондитерских изделий является многокомпонентность состава, что вносит определённые затруднения при определении в их составе различных консервантов. При определении диоксида серы нужно учитывать, что консерванты могут реагировать с другими соединениями, например, с редуцирующими сахарами, меланоидинами, а также с различными карбонильными соединениями, образуя устойчивые соединения. Образующиеся в процессе исследования темноокрашенные растворы не дают возможности получать точные результаты при измерении диоксида серы йодометрическим методом [3–6].

Нижний предел обнаружения диоксида серы в соответствии с ГОСТ 26811 в кондитерских изделиях на основе фруктового сырья составляет 20 мг/кг.

В соответствии с техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 022/2011 «Пищевые продукты в части их маркировки» при содержании диоксида серы более 10 мг/кг его необходимо указывать при маркировке.

Учитывая необходимость контроля содержания диоксида серы в кондитерских изделиях при концентрации 10 мг/кг и выше, задача разработки новых методик его определения является актуальной.

В институте кондитерской промышленности разработаны методики определения диоксида серы в кондитерских изделиях в необходимом диапазоне концентраций.

Проведены исследования сырья, полуфабрикатов и различных наименований кондитерских изделий с целью установления фактических диапазонов содержания диоксида серы и оценки влияния этих видов сырья и полуфабрикатов на химический состав готовых изделий.

Мониторинг кондитерских изделий показал, что содержание диоксида серы находится в широком диапазоне и может значительно превышать значение 10 мг/кг, что требует вынесения информации о наличии диоксида серы на этикетку изделий. Это указывает на необходимость контроля его содержания в сырье, полуфабрикатах и кондитерских изделиях [7–10].

Материалы и методы

При разработке методик определения диоксида серы в кондитерских изделиях в институте кондитерской промышленности проведены исследования более 20 партий сахара, муки, более 30 партий различных видов фруктового сырья и более 60 партий различных кондитерских изделий йодометрическим и ферментативным методами.

Для определения диоксида серы титриметрическим методом предложен алгоритм, включающий стадию обработки раствора исследуемого образца ультразвуком (35 кГц, мощность 250 Вт), с его последующей отгонкой в присутствии серной кислоты. Далее проводится титрование раствором J_2 (0,002 н) в присутствии индикатора крахмала (1%-ный раствор) с построением градуировочной характеристики и расчетом содержания диоксида серы.

Методика, основанная на ферментативном определении диоксида серы, включала стадии обработки образца ультразвуком с дальнейшим его окислением ферментом сульфитоксидазой и обработкой другими ферментами. Измерение оптической плотности полученных растворов проводилось на спектрофотометре Specord M-40 (Германия) в ультрафиолетовой области. Использованы ферментативные наборы фирмы Boehringer Mannheim (Германия).

Результаты и обсуждение

Определение оптимальных условий пробоподготовки кондитерских изделий, сырья и полуфабрикатов

Применение интенсивных способов физического воздействия на исследуемые образцы, таких, как ультразвук и отгонка с паром, позволяет полностью высвободить свободную и связанную формы диоксида серы.

При определении оптимальной длительности экстракции установлено, что ультразвуковая обработка исследуемых образцов кондитерских изделий более 10 мин при температуре 40 °С не оказывает существенного влияния на содержание диоксида серы в исследуемых образцах изделий. Поэтому оптимальное время обработки ультразвуком образцов кондитерских изделий составляет 10 мин (рисунок 1).

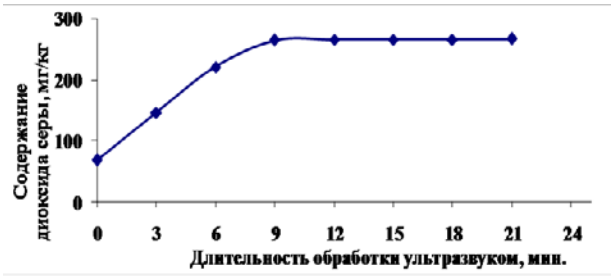


Рисунок 1. Влияние длительности обработки ультразвуком на содержание диоксида серы в исследуемом образце

Figure 1. The effect of the duration of sonication on the content of sulfur dioxide in the sample under study

Оптимальное время отгонки диоксида серы с паром из образцов кондитерских изделий составляет 6 мин (рисунок 2).

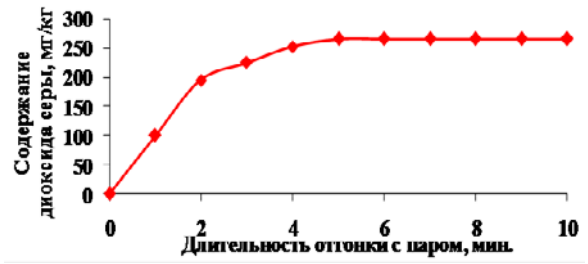


Рисунок 2. Влияние длительности отгонки пробы с паром на содержание диоксида серы в исследуемом образце

Figure 2. The effect of the duration of the distillation of the sample with steam on the content of sulfur dioxide in the sample

Исследование образцов сырья, используемого для производства кондитерских изделий

Проведены исследования образцов сырья, используемого для производства изделий, таких, как сахар белый, патока, мука, крахмал от различных производителей (таблица 1) [11].

Содержание диоксида серы в сырье находится в широком диапазоне. Мука пшеничная содержала диоксид серы от 9 до 15 мг на кг, а сахар белый – от 1,4 до 9,4 мг на кг.

Таблица 1.

Содержание диоксида серы в сырье

Table 1.

Sulfur dioxide content in raw materials

Наименование образцов Sample Name	Содержание диоксида серы, мг/1000 г Sulfur dioxide content, mg/1000g
Сахар белый | White sugar	
Образец № 1 Sample № 1	1,4
Образец № 2 Sample № 2	8,0
Образец № 3 Sample № 3	9,4
Сахарная пудра Powdered sugar	1,5
Патока | Syrup	
Низкоосахаренная Low sugar	38,0
Высокоосахаренная Highly saccharified	52,0
Крахмальная карамельная № 1 Starch caramel № 1	25,0
Крахмал | Starch	
Кукурузный № 1 Corn № 1	3,0
Кукурузный № 3 Corn № 3	4,0
Картофельный Potato	17,0
Мука пшеничная | Wheat flour	
Высший сорт № 1 Top grade № 1	9,0
Высший сорт № 2 Top grade № 2	10,0
1-й сорт № 1 1st grade № 1	15,0
Хлебопекарная общего назначения Bakery general purpose	9,0

Исследование содержания диоксида серы во фруктовом сырье

Кондитерские изделия, содержащие фруктовое сырьё в своём составе, ассоциируются у потребителей со здоровым питанием.

Проведённые исследования показали, что фруктовое сырье характеризуется наибольшим содержанием диоксида серы, который является сильным аллергеном (таблица 2).

Сульфитированнное фруктовое пюре содержит 100–500 мг/кг диоксида серы. Это может являться причиной различного содержания диоксида серы в различных кондитерских изделиях.

Таблица 2.

Содержание диоксида серы во фруктовом сырье

Table 2.

Sulfur dioxide content in fruit raw materials

Наименование образцов | Sample Name	Содержание диоксида серы, мг / 1000 г. Sulfur dioxide content, mg / 1000 g
Пюре яблочное (сульфитированное) | Apple puree (sulfitated)	220
Пюре яблочное (несульфитированное) | Apple puree (non-sulfitized)	5
Пюре яблочное сульфитированное | Apple puree (sulfitated)	96
Пюре яблочное № 1 | Apple puree № 1	143
Пюре яблочное нежелирующее | Apple puree non-gelling	362
Пюре малиновое | Raspberry puree	214
Пюре клюквы | Cranberry puree	145
Пюре клубника | Strawberries puree	455
Пюре кизила | Dogwood puree	367
Пюре вишни | Cherry puree	545
Виноград сушеный | Dried grapes	112

Содержание диоксида серы в кондитерских изделиях

В институте кондитерской промышленности проведены исследования основных групп кондитерских изделий с целью определения суммарного содержания диоксида серы (таблица 3).

Таблица 3.

Содержание диоксида серы в кондитерских изделиях

Table 3.

The content of sulfur dioxide in confectionery products

Наименование образцов | Sample Name	Содержание диоксида серы, мг/1000 г Sulfur dioxide content, mg/1000 g
Сахарное печенье | Sugar cookies	0–16
Зефир, пастила | zephyr, marshmallow	8–29
Мармелад желейный | Marmalade	7–21
Пряники с фруктовой начинкой | Gingerbreads with fruit filling	6–25
Шоколад горький, молочный, с крупными добавлениями Bitter chocolate, milk, with large additions	8–13

Для изготовления сахарного печенья используется 20–25% сахара белого и 60–70% муки, которые являются основными источниками поступления диоксида серы. Сахар белый и мука характеризуются широкими диапазонами содержания диоксида серы от 1,4 до 9,4 и от 9,0 до 15,0 мг на кг, соответственно. Поэтому его содержание в изделиях также может находиться в широких диапазонах.

Крупные добавления, такие, как чернослив, курага, виноград сушеный, увеличивают содержание диоксида серы в различных наименованиях шоколада. При этом содержание сахара оказывает влияние на содержание диоксида серы в таких изделиях.

Фруктовые начинки, мука и сахар являются источником диоксида серы при производстве пряников с начинками.

Для изготовления желейного мармелада используется до 75% сахара и до 35% патоки. Количество диоксида серы в желейном мармеладе не превышает 21 мг на кг и обусловлено его содержанием в сахаре, желатине и патоке. Во фруктовом мармеладе количество диоксида серы выше.

При производстве всех кондитерских изделий температурные воздействия способствуют уменьшению содержания диоксида серы.

Разработанные методики использованы для разработки проекта ГОСТ «Изделия кондитерские. Методы определения диоксида серы» и позволяют определять диоксид серы йодометрическим методом в диапазоне от 5 до 1000 мг/кг, ферментативным методом – от 5 до 100 мг/кг.

Заключение

Разработана методика определения содержания диоксида серы в сырье, кондитерских полуфабрикатов и кондитерских изделиях на основе йодометрического титрования.

Содержание диоксида серы в сырье и полуфабрикатах кондитерского производства

находится в очень широком диапазоне – до 600 мг/кг. Фруктовое сырьё является основным источником поступления диоксида серы в кондитерские изделия.

Обеспечение уровня содержания диоксида серы менее 10 мг/кг достигается использованием сырья с низким содержанием диоксида серы и технологическими приёмами (десульфитация).

Результаты позволяют делать ориентировочный прогноз содержания диоксида серы и контролировать его наличие в кондитерских изделиях, способствуя повышению их безопасности.

В соответствии с требованиями ТР ТС 022/2011 «Пищевые продукты в части их маркировки» содержание диоксида серы выше 10 мг на кг в кондитерских изделиях должно быть указано при маркировании. Поэтому необходимо гарантировать его содержание, не превышающее это количество. Поскольку диоксид серы содержится в сырье в широком диапазоне, то необходимо проводить контроль входящего сырья по этому показателю или указывать его содержание при маркировании кондитерских изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1 Hui Y., Evranuz E.O. Handbook of Vegetable Preservation and Processing. UK: CRC Press, 2015. 970 p.

2 Schroeter L.C. Sulphur dioxide: Application in Foods, Beverages, and Pharmaceuticals. UK: Pergamon Press, 2015. 356 p.

3 Lim H.-S., Park S.-K., Kim S.-H., Song S.-B. et al. Comparison of four different methods for the determination of sulfites in foods marketed in South Korea // Journal of Food Additives & Contaminants: Part A. 2014. V. 31. № 2. P. 187–196.

4 Murlykina N.V., Murlykina M.V. Application of infrared spectroscopy for quantitative analysis of new food emulsifiers // Ukrainian Food Journal. 2015. V. 4. № 2. P. 299–308.

5 Райник В.В., Егорова М.И. Диоксид серы – источник химической опасности сахара // Актуальные вопросы нутрициологии, биотехнологии и безопасности пищи: материалы Всероссийской конференции молодых ученых с международным участием. Москва: ФГБУН Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, 2017. С. 282–286.

6 Зизевских О.В., Минаева А.В. Определение диоксида серы в сухофруктах методами потенциометрического и кулонометрического титрования // Наука и образование XXI века: сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа: Аэтерна, 2014. С. 6–7.

7 Кондратьев Н.Б., Казанцев Е.В., Савенкова Т.В. Определение содержания диоксида серы в сырье, полуфабрикатах и кондитерских изделиях // Кондитерское и хлебопекарное производство. 2018. № 7–8. С. 18–19.

8 Казанцев Е.В., Кондратьев Н.Б., Белова И.А., Петрова Н.А. К вопросу определения диоксида серы в кондитерских изделиях // Пищевая промышленность. 2018. № 7. С. 26–28.

9 Пилипенко Т.Н., Невпряга П.Ю. Исследование качества продуктов, содержащих консервирующее вещество – диоксид серы, Е220 // Пищевая промышленность. 2016. № 11–3(40). С. 131–132.

10 Qin G., Wu M., Wang J., Xu Z. et al. Sulfur Dioxide Contributes to the Cardic and Mitochondrial Dysfunction in Rats // Toxicological Sciences. 2016. V. 151. № 2. P. 334–46.

11 Lien K., Hsieh D., Huang H., Wu C. et al. Food safety risk assessment for estimating dietary intake of sulfites in the Taiwanese population // Journal of Toxicology Reports. 2016. V. 3. P. 544–551.

REFERENCES

1 Hui Y., Evranuz E.O. Handbook of Vegetable Preservation and Processing. UK, CRC Press, 2015. 970 p.

2 Schroeter L.C. Sulphur dioxide: Application in Foods, Beverages, and Pharmaceuticals. UK, Pergamon Press, 2015. 356 p.

3 Lim H.-S., Park S.-K., Kim S.-H., Song S.-B. et al. Comparison of four different methods for the determination of sulfites in foods marketed in South Korea. Journal of Food Additives & Contaminants: Part A. 2014. vol. 31. no. 2. pp. 187–196.

4 Murlykina N.V., Murlykina M.V. Application of infrared spectroscopy for quantitative analysis of new food emulsifiers. Ukrainian Food Journal. 2015. vol. 4. no. 2. pp. 299–308.

5 Rajnik V.V., Egorova M.I. Sulfur dioxide – a source of chemical hazards of sugar. Aktual'nye voprosy nutriciologii, biotekhnologii i bezopasnosti pishchi [Topical issues of nutrition, biotechnology and food safety: materials of the All-Russian conference of young scientists with international participation]. Moscow, Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, 2017. pp. 282–286. (in Russian).

6 Zizevskikh O.V., Minaeva A.V. Determination of sulfur dioxide in dried fruit by potentiometric and coulometric titration methods. Nauka i obrazovanie XXI veka [Science and education of the XXI century: a collection of articles of the International Scientific and Practical Conference]. Ufa, Aeterna, 2014. pp. 6–7.

7 Kondrat'ev N.B., Kazancev E.V., Savenkova T.V. Determination of sulfur dioxide content in raw materials, semi-finished products and confectionery. *Konditerskoe i hlebopekarnoe proizvodstvo* [Confectionery and bakery production]. 2018. no. 7–8. pp. 18–19. (in Russian).

8 Kazancev E.V., Kondrat'ev N.B., Belova I.A., Petrova N.A. On the determination of sulfur dioxide in confectionery. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food industry]. 2018. no. 7. pp. 26–28. (in Russian).

9 Pilipenko T.N., Nevpryaga P.Yu. Investigation of the quality of products containing preservative - sulfur dioxide, E220. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food industry]. 2016. no. 11–3(40). pp. 131–132. (in Russian).

10 Qin G., Wu M., Wang J., Xu Z. et al. Sulfur Dioxide Contributes to the Cardic and Mitochondrial Dysfunction in Rats. Toxicological Sciences. 2016. vol. 151. no. 2. pp. 334–46.

11 Lien K., Hsieh D., Huang H., Wu C. et al. Food safety risk assessment for estimating dietary intake of sulfites in the Taiwanese population. Journal of Toxicology Reports. 2016. vol. 3. pp. 544–551.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Николай Б. Кондратьев д.т.н., главный научный сотрудник, отдел современных методов оценки качества кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности, ул. Электрозаводская, 20, стр. 3, г. Москва, 107023, Россия, confect@mail.ru

Егор В. Казанцев научный сотрудник, отдел современных методов оценки качества кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности, ул. Электрозаводская, 20, стр. 3, г. Москва, 107023, Россия

Максим В. Осипов к.т.н., ведущий научный сотрудник, отдел современных методов оценки качества кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности, ул. Электрозаводская, 20, стр. 3, г. Москва, 107023, Россия

Оксана С. Руденко к.т.н., старший научный сотрудник, отдел современных методов оценки качества кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности, ул. Электрозаводская, 20, стр. 3, г. Москва, 107023, Россия,

Эмилия Н. Крылова к.т.н., старший научный сотрудник, отдел современных методов оценки качества кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности, ул. Электрозаводская, 20, стр. 3, г. Москва, 107023, Россия,

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 17.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 02.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Nikolai B. Kondratyev Dr. Sci. (Engin.), chief researcher, department of modern methods for assessing the quality of confectionery, All-Russian Scientific Research Institute of Confectionery Industry, Electrozavodskaya, 20, 3, Moscow, 107023, Russia, confect@mail.ru

Egor V. Kazantsev researcher, department of modern methods for assessing the quality of confectionery, All-Russian Scientific Research Institute of Confectionery Industry, Electrozavodskaya, 20, 3, Moscow, 107023, Russia

Maxim V.Osipov Cand. Sci. (Engin.), leading researcher, department of modern methods for assessing the quality of confectionery, All-Russian Scientific Research Institute of Confectionery Industry, Electrozavodskaya, 20, 3, Moscow, 107023, Russia

Oksana S. Rudenko Cand. Sci. (Engin.), senior researcher, department of modern methods for assessing the quality of confectionery, All-Russian Scientific Research Institute of Confectionery Industry, Electrozavodskaya, 20, 3, Moscow, 107023, Russia

Emilia N. Krylova Cand. Sci. (Engin.), senior researcher, department of modern methods for assessing the quality of confectionery, All-Russian Scientific Research Institute of Confectionery Industry, Electrozavodskaya, 20, 3, Moscow, 107023, Russia

CONTRIBUTION

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.17.2018

ACCEPTED 11.2.2018

Краткое сообщение/Short message

УДК 641.384.6, 579.676

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-209-212

Закономерности ингибирования культуры Salmonella

Наталья В. Илюхина [1] inv63@mail.ru

Анастасия Ю. Колоколова [1] aykolokolova@yandex.ru

[1] ФГБНУ ВНИИТеК, Московская область, Ленинский район, г. Видное, ул. Школьная, 78

Аннотация. Проведены исследования по эффективности ингибирования начальной степени инокуляции микроорганизма Salmonella. В данной работе изучена эффективность облучения модельных систем пучками электронов с энергией пучка 6,5 и 10 МэВ. Исследования выполнены на ускорителях УЭЛВ-10-10-С-70 в ЦКП ФМИ ИФХЭ РАН со средняя энергия электронов пучка 6,5 МэВ и на радиационно-технологической установке с ускорителем электронов УЭЛР-10-10-40 в ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна со средней энергия пучка в 10 МэВ. Проведены исследования по изучению и выявлению зависимостей ингибирования патогенной микрофлоры, при облучении с различной интенсивностью, от структуры (плотности) изучаемых образцов, которые моделируют жидкие и твердые питательные среды. В исследовании использовали штамм *Salmonella enterica subsp. Enterica serovar Typhimurium*. Получены результаты ингибирования начальной степени обсеменения для двух установок. Исследования показали, что эффективность ингибирования культуры *Salmonella* может варьироваться в зависимости от характеристик пучка электронов. Например, при облучении образцов электронами с энергией 6,5 и 10 МэВ дозами от 3 до 7 кГр получены различные результаты эффективности угнетения культуры Salmonella на средах с различной структурой. При обработке образцов с исследуемыми штаммами культур в диапазоне доз от 4 до 5 кГр наблюдается увеличение роста микроорганизмов для всех условий обработки, а в остальных изучаемых диапазонах их ингибирование. Показана необходимость учитывать не только эффективность угнетения микрофлоры на конкретных продуктах, но и эффективность установки для конкретного образца.

Ключевые слова: ионизационая обработка, Salmolella

Patterns of inhibition of the culture of Salmonella

Natal'ay V. Ilyuhina [1] inv63@mail.ru

Anastasiay Yu. Kolokolova [1] aykolokolova@yandex.ru

[1] All-Russia Research Institute of Preservation Technology, Shkolnaya st., 78, Vidnoe, 144701, Russia

Abstract. Studies on the inhibition effectiveness of the initial degree of inoculation of the Salmonella microorganism were carried out. In this paper, the irradiation efficiency of model systems with electron beams with beam energy of 6.5 and 10 MeV was studied. The investigations were carried out at UELV-10-10-C-70 accelerator at Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry of Russian Academy of Sciences (IPCE RAS) with an average beam power of 6.5 MeV and at radiation-technological center with an electron accelerator UELR-10-10-40 at A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Centre of Federal Medical Biological Agency with an average electron energy of 10 MeV. The conducted researches on studying and revealing the dependence of inhibition of pathogenic microflora, irradiation with different intensity, on the structure (density) of the studied samples, which model liquid and solid nutrient media. The study used a strain *Salmonella enterica subsp. Enterica serovar Typhimurium*. The results of the effective inhibition of the initial degree of contamination for the two plants were obtained. Studies have shown that the effectiveness of inhibition of Salmonella culture can vary depending on the characteristics of electron beams. For example, when samples were irradiated with electrons with energy of 6.5 and 10 MeV at doses from 3 to 7 kGy, various results of the inhibition effectiveness of Salmonella culture on media with different work were obtained. When processing samples with studied strains of cultures in the dose range from 4 to 5 kGy, there is an increase in the growth of microorganisms for all processing conditions. In the remaining studied ranges their inhibition are observed. It is important to take into account not only the effectiveness of the oppression of microflora on specific products, but also the efficiency of the installation for a specific sample.

Keywords: ionization treatment, electron beam, Salmolella

Введение

Радиационная обработка является универсальной технологией, которую возможно применять для любой сельскохозяйственной и пищевой продукции. Однако каждый вид продукта по-разному восприимчив к облучению, особенно если облучение проводится пучком ускоренных электронов. Исследования по изучению воздействия ионизирующего облучения на пищевую продукцию проводятся уже не одно десятилетие. Преимущество обработки ионизационным облучением заключается в том, что данная технология не является термической, при этом сохраняется высокое качество продукции, обеспечивая микробиологическую стабильность и безопасность готового продукта [1, 4–6]. Также возможна радиационная обработка уже упакованного продукта.

Результаты многочисленных исследований в рамках Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО ООН) и Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) подтвердили эффективность и безвредность использования в пищу облученных свежих фруктов, овощей и картофеля при облучении с энергией ускоренных электронов не более 10 МэВ [1, 2–4, 6–10].

Проведенные ранее исследования в основном касаются определённых объектов

Для цитирования

Илюхина Н.В., Колоколова А.Ю. Закономерности ингибирования культуры Salmonella // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 209–212. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-209-212

For citation

Ilyuhina N.V., Kolokolova A.Yu. Patterns of inhibition of the culture of Salmonella. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 209–212. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-209-212

пищевой продукции, микрофлоры, пленок для одной установки. Сравнительного анализа эффективности облучения одного объекта на различных установках проведено не было. Данное исследование актуально при радиационной обработке пучком ускоренных электронов, электронные ускорители имеют различия по энергии, мощности пучка и системе формирования рассеянного пучка. Различия установок необходимо учитывать при облучении пищевой продукции пучками электронов, особенно при малых дозах до 7 кГр. Проведение данных исследований возможно лишь с применением модельных систем, которые позволят стандартизировать условия облучения для получения воспроизводимых результатов.

В работе изучена эффективность ингибирования микроорганизма *Salmonella*, находящегося в двух модельных системах (твердой и жидкой), с использованием ускорителей с энергией пучка 6,5 и 10,0 МэВ при прочих равных условиях. Проведены исследования по изучению и выявлению зависимостей ингибирования патогенной микрофлоры от облучения с различной интенсивностью и от структуры (плотности) изучаемых образцов.

Материалы и методы

В исследовании использовали штамм *Salmonella enterica subsp. Enterica serovar Typhimurium* с регистрационным номером в коллекции В-4922, происхождение штамма, АТСС 14028.

В качестве носителя культуры была выбрана твердая и жидкая питательная среда, приготовленная по ГОСТ 11133-1-2014 п 3.2.7 на основе мясного бульона с добавлением или без добавления бактериологического агара. Инокуляцию модельных систем проводили следующим образом: суспензию, содержащую определенное количество микроорганизмов, вносили в пробирки, содержащие 5 мл незастывшей твердой или жидкой среды из расчета 2% инокулята от массы среды.

Облучение полученных модельных систем проводили на ускорителе УЭЛВ-10-10-С-70 в ЦКП ФМИ ИФХЭ РАН со средней энергией электронов пучка – 6,5 МэВ и на радиационно-технологической установке с ускорителем электронов УЭЛР-10-10-40 в ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна со средней энергией электронов 10 МэВ. Модельные системы облучали дозами в интервале 0 до 10 кГр. Процесс облучения контролировали пленочными дозиметрами СО ПД(Э)–1/10, изготовленными по ТУ 2379-006-1327176-00.

Эффективность облучения определяли путем исследования остаточной микрофлоры в образцах, подвергшихся облучению с различной интенсивностью, на различных установках. Анализ проводили согласно действующей нормативной документации по определению количества мезофильно-аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов ГОСТ 10444.15-95.

Результаты и обсуждение

Получены результаты по ингибированию культуры *Salmonella* под воздействием облучения на установках с энергией электронов 6,5 и 10,0 МэВ с различной поглощенной дозой. Проведена сравнительная оценка воздействия на модельные среды различной структуры (рисунок 1). Модельные системы облучали дозами в интервале 0 до 10 кГр.

Исследования, проведенные на установке УЭЛВ-10–10-С-70 (6,5 МэВ), показали, что вид кривой угнетения культуры *Salmonella* имеет ступенчатый характер, который можно объяснить наличием в составе культуры двух субпопуляций, более устойчивых и менее устойчивых к облучению.

При облучении интенсивностью 3 кГр начальная обсемененность снижается на 10–4, при облучении 5 кГр на 10–4 для жидкой модельной среды и 10–5 для твердой модельной среды. При 7 кГр происходит полное угнетение начальной степени обсеменения. Исследования воздействия облучения объектов, различных по структуре носителя, показали разницу в результатах при облучении в диапазоне от 3 до 7 кГр.

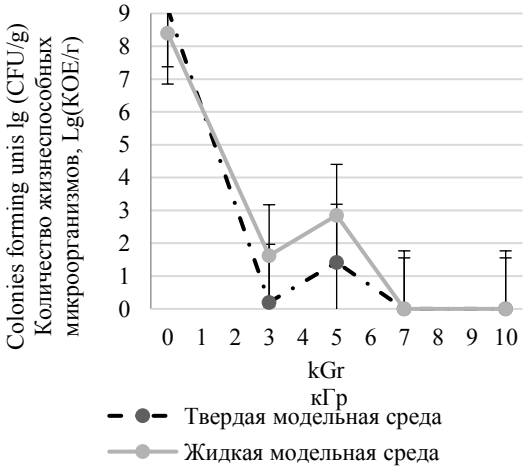


Рисунок 1. Зависимости ингибирования микроорганизма *Salmonella* при облучении модельных систем ускоренными электронами со средней энергией пучка 6,5 МэВ

Figure 1. Dependencies of inhibition of the Salmonella microorganism upon irradiation of model systems with accelerated electrons with an average beam energy of 6.5 MeV

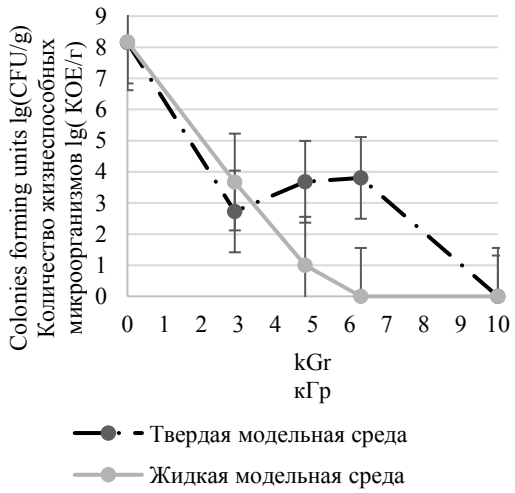


Рисунок 2. Зависимости ингибирования микроорганизма *Salmonella* при облучении модельных систем ускоренными электронами со средней энергией пучка 10 МэВ

Figure 2. Dependencies of inhibition of the Salmonella microorganism during irradiation of model systems with accelerated electrons with an average beam energy of 10 MeV

Исследования, проведенные на установке УЭЛР-10-10-40 (10 МэВ), показывают, что вид кривой угнетения культуры *Salmonella* имеет ступенчатый характер. Ингибирование начальной степени инокуляции исследуемых образцов при облучении интенсивностью 2,9 кГр снижает начальную обсемененность на 10–4. При облучении 4,8 кГр для твердой среды – на 10–4, для жидкой среды это значение составляет 10–7, при 6 кГр для жидкой модельной среды снижение на 10–8, для твердой среды 10–4. При облучении интенсивностью 10 кГр происходит полное угнетение начальной микрофлоры. Исследования воздействия облучения на образцы, различные по структуре носителя, показали разницу в результатах исследования при облучении в диапазоне от 3,4 до 10 кГр.

Заключение

Получены результаты ингибирования начальной степени обсеменения для двух установок. Исследования показали, что эффективность облучения по угнетению культуры *Salmonella* может варьироваться в зависимости от характеристик пучка электронов. При облучении от 3 до 7 кГр для установки УЭЛВ-10–10-С-70 и 10 кГр для установки УЭЛР-10-10-40 получены различные результаты эффективности угнетения культуры.

ЛИТЕРАТУРА

1 Алексахин Р.М., Санжарова Н.И., Козьмин Г.В., Гераськин С.А. и др. Перспективы использования радиационных технологий в агропромышленном комплексе Российской Федерации // Сельское хозяйство. 2014. № 1. С. 78–85.

2 Farkas J., Mohachi-Farkas C. History and future of food irradiation // Sci. and Tech. 2011. V. 22. № 11. P. 121–126.

3 Молин А.А. Развитие нормативного регулирования и популяризации применения радиационных технологий в области пищевой промышленности. Объединенная инновационная корпорация. Гос. Предприятие «Росатом». 2012.

4 Фрумкин М.Л., Ковальская Л.П., Гельфанд С.Ю. Технологические основы радиационной обработки пищевых продуктов. М.: 1973. 406 с.

5 Петров А.Н., Шишкина Н.С., Карастоянова О.В., Клюева О.А. и др. Применение ионизирующих излучений для оптимизации технологии холодильного хранения плодоовощной продукции // Холодильная техника. 2015. № 11. С. 51–55.

6 Будник С.В., Трофимов В.И., Шишкина Н.С., Белецкий С.Л. Перспективы технологий обработки ускоренными электронами растительного сырья // Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд: междунар. сб. науч. ст. ФГБУ НИИПХ Росрезерва. под общ. ред. С.Е. Уланина. М.: Галлея-Принт, 2014. С.70–79.

7 Romero S.B., Knotek Z., Cizek A., Masarikova M. et al. The incidence and antibiotic resistance of Salmonella species isolated from cloacae of captive veiled chameleons // Acta Veterinaria Brno. 2015. V. 84. №. 3. P. 209–213.

8 Spinali S., van Belkum A., Goering R.V., Girard V. et al. Microbial typing by matrix-assisted laser desorption ionization–time of flight mass spectrometry: do we need guidance for data interpretation? // Journal of clinical microbiology. 2015. V. 53. №. 3. P. 760–765.

9 Fagerquist C.K., Zaragoza W.J. Proteolytic surface-shaving and serotype-dependent expression of SPI-1 invasion proteins in Salmonella enterica subspecies enterica // Frontiers in Nutrition. 2018. V. 5. P. 124.

10 Li B.Z., Chen F., Guo Z.Z., He C.H. et al. Isolation and identification of Salmonella/Escherichia coli analogues in raw pork by matrix-assisted laser desorption ionization time-of-flight mass spectrometry // Journal of Food Safety and Quality. 2018. V. 9. № 4. P. 717–722.

REFERENCES

1 Aleksahin R.M., Sanzharova N.I., Koz'min G.V., Geras'kin S.A. et al. Prospects for the use of radiation technologies in the agro-industrial complex of the Russian Federation. *Sel'skoe hozyajstvo* [Agriculture]. 2014. no. 1. pp.78–85. (in Russian).

2 Farkas J., Mohachi-Farkas C. History and future of food irradiation. Sci. and Tech. 2011. vol. 22. no. 11. pp. 121–126.

3 Molin A.A. Razvitie normativnogo regulirovaniya i populyarizacii primeneniya radiacionnyh tekhnologij v oblasti pishchevoj promyshlennosti [Development of regulatory regulation and popularization of the use of radiation technologies in the food industry. United Innovation Corporation State Enterprise "Rosatom"]. 2012. (in Russian).

4 Frumkin M.L., Koval'skaya L.P., Gel'fand S.Yu. Tekhnologicheskie osnovy radiacionnoj obrabotki pishchevyh produktov [Technological basics of food radiation processing]. Moscow, 1973. 406 p. (in Russian).

5 Petrov A.N., Shishkina N.S., Karastoyanova O.V., Klyueva O.A. et al. The use of ionizing radiation to optimize the technology of refrigeration storage of fruits and vegetables. *Holodil'naya tekhnika* [Refrigeration]. 2015. no. 11. pp. 51–55. (in Russian).

6 Budnik S.V., Trofimov V.I., SHishkina N.S., Beleckij S.L. Prospects for processing technologies of accelerated electrons of plant materials. Innovacionnye tekhnologii proizvodstva i hraneniya material'nyh cennostej dlya gosudarstvennyh nuzhd [Innovative technologies for the production and storage of wealth for state needs: international collection of scientific articles. FSBI SRIPS Rosrezrerva. under total ed. S.E. Ulanina]. Moscow, Halley-Print, 2014. pp.70–79. (in Russian).

7 Romero S.B., Knotek Z., Cizek A., Masarikova M. et al. The incidence and antibiotic resistance of Salmonella species isolated from cloacae of captive veiled chameleons. Acta Veterinaria Brno. 2015. vol. 84. no. 3. pp. 209–213.

8 Spinali S., van Belkum A., Goering R.V., Girard V. et al. Microbial typing by matrix-assisted laser desorption ionization–time of flight mass spectrometry: do we need guidance for data interpretation? Journal of clinical microbiology. 2015. vol. 53. no. 3. pp. 760–765.

9 Fagerquist C.K., Zaragoza W.J. Proteolytic surface-shaving and serotype-dependent expression of SPI-1 invasion proteins in Salmonella enterica subspecies enterica. Frontiers in Nutrition. 2018. vol. 5. pp. 124.

10 Li B.Z., Chen F., Guo Z.Z., He C.H. et al. Isolation and identification of Salmonella/Escherichia coli analogues in raw pork by matrix-assisted laser desorption ionization time-of-flight mass spectrometry. Journal of Food Safety and Quality. 2018. vol. 9. no. 4. pp. 717–722.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Наталья В. Илюхина к.х.н., ФГБНУ ВНИИТеК, ул. Школьная, 78, г. Видное 144701, Россия, inv63@mail.ru

Анастасия Ю. Колоколова к.х.н., ФГБНУ ВНИИТеК, ул. Школьная, 78, г. Видное 144701, Россия, aykolokolova@yandex.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 12.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 16.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Natal'ay V. Ilyuhina Cand. Sci. (Chem.), All-Russia Research Institute of Preservation Technology, Shkolnaya st., 78, Vidnoe, 144701, Russia, inv63@mail.ru

Anastasiay Yu. Kolokolova Cand. Sci. (Chem.), All-Russia Research Institute of Preservation Technology, Shkolnaya st., 78, Vidnoe, 144701, Russia, aykolokolova@yandex.ru

CONTRIBUTION

Authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.12.2018

ACCEPTED 11.16.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 663.918.1

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-213-218

Научно-практические результаты комплексной оценки качественных показателей продуктов переработки какао-бобов

Наталия В. Линовская [1] confect@mail.ru
Элла В. Мазукабзова [1]
Николай Б. Кондратьев [1]

[1] Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности, ул. Электрозаводская, 20, стр. 3, г. Москва, 107023, Россия

Аннотация. Производство шоколадных изделий с высокими показателями качества – одна из важнейших задач кондитерской промышленности. Продукты переработки какао-бобов являются основными составными ингредиентами шоколадных изделий и комплексная оценка их качества – актуальная задача. В работе исследованы качественные показатели различных образцов какао тертого и масла какао. Анализ показал, что образец какао тёртое №5 содержал 50,1% масла какао по сравнению с другими образцами, массовая доля жира которых – (52,5÷55,2)%. Чем ниже массовая доля жира в какао тертом, тем меньше выход масла какао при его прессовании. Степень измельчения изученных образцов какао тёртого составила (92,5÷94,1)%, что обеспечит получение тонкодисперсных шоколадных полуфабрикатов, выработанных с использованием этих образцов. Необходимо также учитывать значения pH какао тертого. Уровень pH < 5 будет приводить к более длительному времени конширования шоколадных полуфабрикатов для придания им оптимальных органолептических свойств. Наилучшим значением pH (5,6÷6,2) характеризовались образцы какао тёртого №3, 4 и 6. Показателем, определяющим качество структурообразования шоколадных полуфабрикатов, является характеристика кристаллизации какао тёртого и масла какао. По температуре застывания образцы какао тёртого №1, 4 и 5 несколько уступают образцам №2, 3 и 6. Указанное обстоятельство может отрицательно сказаться на технологичности процесса производства шоколадных изделий, выработанных с использованием данных сырьевых компонентов, увеличивая время их застывания и снижая производительность линии. Изучен триглицеридный состав масла какао, который определяет свойства жира – поведение при кристаллизации и твердость. Температура плавления всех образцов масла какао составила от 33,5 ºС до 34,7 ºС, благодаря этому готовая шоколадная продукция на их основе будет обладать хорошими органолептическими показателями. По результатам проведенных исследований предложено дифференцирование продуктов переработки какао-бобов на сорта на базе системной комплексной оценки их качества.

Ключевые слова: шоколадная продукция, комплексный показатель качества, какао тертое, масло какао.

Scientific and practical results of a comprehensive assessment of quality indicators of cocoa processing products

Nataliya V. Linovskaya [1] confect@mail.ru
Ella V. Mazukabzova [1]
Nikolay B. Kondratyev [1]

[1] All-Russian Scientific Research Institute of Confectionery Industry, Electrozavodskaya, 20, bld.3, Moscow, 107023, Russia

Abstract. Production of chocolate products with high quality indicators is one of the most important tasks of the confectionery industry. Products of processing of cocoa beans are the main ingredients of chocolate products and a comprehensive assessment of their quality is an urgent task. In this work, we studied the qualitative indicators of various samples of cocoa liquor and cocoa butter. The analysis shows that the cocoa liquor sample №5 contained 50,1% cocoa butter compared to other samples, the mass fraction of fat which – (52,5÷55,2) %. The lower the mass fraction of fat in cocoa liquor, the lower the yield of cocoa butter when it is pressed. The degree of grinding of the studied samples of cocoa liquor was (92,5÷94,1) %, which will ensure the production of fine chocolate semi-finished products produced using these samples. It is also necessary to take into account the pH values of cocoa liquor. The pH level 5 will lead to a longer conching time of chocolate semi-finished products to give them optimal organoleptic properties. The best value of pH (5,6÷6,2) characterized by cocoa samples №3, 4 and 6. This circumstance can adversely affect the manufacturability of the process of production of chocolate products produced using these raw components, increasing their solidification time and reducing the productivity of the line. The triglyceride composition of cocoa butter was studied, which determines the properties of fat – crystallization behavior and hardness. The melting temperature of all cocoa butter samples ranged from 33,5 ºC to 34,7 ºC, thanks to this, the finished chocolate products based on them will have good organoleptic characteristics. According to the results of the research proposed differentiation of cocoa processing products into varieties on the basis of a system of integrated assessment of their quality.

Keywords: chocolate product, comprehensive quality indicator, cocoa liquor, cocoa butter

Введение

Задачей, стоящей перед кондитерской отраслью, является производство шоколадных изделий с наилучшими показателями качества [1, 5, 8, 9]. Применяемые при производстве шоколадной продукции какао тёртое и масло какао – продукты переработки какао-бобов – обладают различными органолептическими, физико-химическими и технологическими свойствами, обусловленными регионом произрастания деревьев какао и технологиями его получения [3, 4, 6, 7, 10].

Для цитирования

Линовская Н.В., Мазукабзова Э.В., Кондратьев Н.Б. Научно-практические результаты комплексной оценки качественных показателей продуктов переработки какао-бобов // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 213–218. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-213-218

For citation

Linovskaya N.V., Mazukabzova E.V., Kondratyev N.B. Scientific and practical results of a comprehensive assessment of quality indicators of cocoa processing products. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 213–218. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-213-218

Основной стандарт, определяющий качественные характеристики закупаемых по импорту какао-бобов ГОСТ 32615-2014 «Какао-бобы. Технические условия». Нормативная документация, отражающая весь спектр показателей качества какао тёртого и масла какао в РФ, в настоящее время отсутствует. При этом отдельные показатели для какао тёртого – массовая доля влаги и жира, для масла какао – содержание свободных жирных кислот, в пересчете на олеиновую кислоту и количество неомыляемых веществ нормируются в ГОСТ Р 53041–2008 «Изделия кондитерские и полуфабрикаты кондитерского производства. Термины и определения». Учитывая специфику данного стандарта, невозможность регламентирования в нём всех показателей качества продуктов переработки какао-бобов очевидна.

В условиях жесткой конкуренции необходимо добиваться согласованности требований стандартов к качеству сырья с требованиями отдельных предприятий. Этот принцип имеет особое значение для кондитерской отрасли, где характеристики используемого сырья во многом определяют качество готовой продукции.

Цель работы – разработка системы комплексной оценки качества продуктов переработки какао-бобов, используемых в качестве сырьевых компонентов при производстве высококачественной шоколадной продукции.

Материалы и методы

Объекты исследования – образцы какао тертого и масла какао различных производителей.

Физико-химические и микробиологические показатели качества исследуемых образцов определяли общепринятыми методами. Гранулометрический состав какао тертого определяли по ГОСТ 54052-2010 «Изделия кондитерские. Методы определения степени измельчения шоколада, шоколадных изделий, полуфабрикатов производства шоколада, какао и глазури» на лазерном дифрактометре.

Изучали характеристики кристаллизации образцов какао тертого и масла какао различных производителей на приборе MultiTherm (фирма «Buhler», Швейцария). Принцип измерения основан на калориметрическом, экзотермическом анализе. В процессе измерения получали информацию о температуре и времени начала зарождения кристаллов жира в стабильной β-форме, температуре и времени окончания кристаллизации.

Триглицеридный состав образцов масла какао определяли по ГОСТ 31664-2012 «Масла растительные и жиры животные. Метод определения состава жирных кислот в положении 2 в молекулах триглицеридов».

Результаты и их обсуждение

Проанализировали показатели качества какао тёртого, являющиеся значимыми с точки зрения шоколадного производства (таблица 1).

Таблица 1.

Показатели качества образцов какао тёртого

Table 1.

Quality indicators for cocoa liquor samples

Показатель |Parameter	№ образца | sample number					
	1	2	3	4	5	6
Физико-химические и технологические показатели | Physico-chemical and technological parameters						
Массовая доля влаги, % | Mass fraction of moisture, %	1,6	1,9	2,2	1,4	2,3	2,9
Массовая доля жира, % | Mass fraction of fat, %	52,5	53,8	55,2	53,7	50,1	54,6
Степень измельчения, % | The degree of grinding, %	92,9	94,0	94,1	93,8	92,5	93,4
Показатель pH | pH value	5,3	5,5	6,2	5,8	5,1	5,6
Массовая доля общей золы,% | Mass fraction of total ash,%	3,0	3,8	3,3	2,7	3,6	5,9
Температура застывания на приборе Дженсена, ºС | Pour point on Jensen's device, ºС	28,7	29,0	29,3	28,6	28,2	30,8
Микробиологические показатели | Microbiological indicators						
КМАФАнМ, КОЕ/г | QMAFAnM, CFU / g	40	70	60	40	80	110
Дрожжи, КОЕ/г | Yeast, CFU / g	10	25	20	0	20	70
Плесени КОЕ/г | Mold CFU/g	0	0	0	0	60	50

Анализ физико-химических характеристик какао тертого показал, что по массовой доле влаги, равной 1,4–2,9%, все образцы соответствовали требованиям ГОСТ Р 53041-2008.

Действующим стандартом массовая доля жира (масла какао) в какао тертом определена как составляющая «не менее 50%». При формировании требований к качеству какао тёртого следует учитывать, что чем ниже массовая доля жира в нем, тем меньше выход масла какао при его прессовании. Данные таблицы 1 показывают, что какао тёртое № 5 содержит 50,1% масла какао по сравнению с образцами № 1–4 и 6, массовая доля жира которых – 52,5–55,2%.

Низкое значение степени измельчения какао тёртого – доля частиц размером до 35 мкм (менее 92%) также является нежелательным фактором для шоколадного производства,

так как вызывает необходимость увеличения продолжительности измельчения шоколадного полуфабриката в шариковой мельнице. Степень измельчения изученных образцов какао тёртого составила 92,5–94,1%, что обеспечит получение тонкодисперсных шоколадных полуфабрикатов, выработанных с использованием этих образцов какао-продуктов.

Необходимо также учитывать, что низкие значения pH какао тертого (< 5) будут приводить к более длительному времени конширования шоколадных полуфабрикатов для придания им оптимальных органолептических свойств (снижения кислого привкуса). Установили, что наилучшим значением активной кислотности характеризовались образцы какао тёртого № 3, 4 и 6 (pH = 5,6–6,2).

Основным фактором, обусловливающим необходимое качество шоколадных изделий, является создание особо благоприятных условий для полной и интенсивной кристаллизации входящего в их состав жирового компонента. Первоочередным показателем, определяющим качество структурообразования шоколадных полуфабрикатов, является характеристика кристаллизации какао тёртого и масла какао. Чем ниже их температура застывания и больше продолжительность застывания, тем слабее кристаллизация и длительнее структурирование изделия.

Выявили, что по температуре застывания, определяемой на приборе Дженсена, образцы какао тёртого № 1, 4 и 5 несколько уступают образцам № 2, 3 и 6. Указанное обстоятельство может отрицательно сказаться на технологичности процесса производства шоколадных изделий, выработанных с использованием данных образцов какао тёртого, увеличивая время их застывания и снижая производительность линии.

В шоколадных изделиях могут содержаться различные микроорганизмы и продукты их жизнедеятельности, которые способны вызывать заболевания и патологические изменения в организме человека при их употреблении. Согласно ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» допустимые уровни дрожжей и плесеней в шоколадной продукции составляют не более 50 КОЕ/г, следовательно, образцы какао тёртого № 5 и 6, контаминация которых увеличена, не рекомендуются для использования в производстве кондитерских изделий без предварительной термической обработки.

Изучили состав и технологические свойства различных образцов масла какао (таблица 2 и 3).

Таблица 2.

Триглицеридный состав масла какао

Table 2.

Triglyceride composition of cocoa butter

Обозначение триглицерида Designation triglyceride	Массовая доля триглицерида, % | Mass fraction of triglyceride ,%					
	1	2	3	4	5	6
POP	14,8	13,2	15,5	17,5	14,9	16,4
POS	43,7	47,5	43,1	40,5	42,9	40,3
SOS	26,8	30,1	26,3	22,1	26,4	22,6

Таблица 3.

Показатели качества масла какао

Table 3.

Cocoa butter quality indicators

Показатель | Parameter	№ образца | sample number					
	1	2	3	4	5	6
Кислотное число, мг КОН/г | Acid number, mg KOH/g	1,3	1,0	1,5	1,2	2,0	1,7
Температура плавления, °С | Melting point, °С	34,0	34,7	33,8	33,5	34,5	34,2
Коэффициент кристаллизации Бюлер (BCI) | Buhler crystallization coefficient (BCI)	3,8	4,1	4,0	3,5	4,4	4,7
Массовая доля твердых триглицеридов (ТТГ), % при температуре, °С | Mass fraction of solid triglycerides (TTG), % at temperature, °С:						
20	78,8	81,0	76,1	65,4	77,2	70,4
25	69,3	76,4	70,5	60,8	69,7	62,8
30	46,5	52,7	45,3	37,2	49,1	47,5
35	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Масло какао на 98% состоит из композиций симметричных триглицеридов, тип которых определяет свойства жира – поведение при кристаллизации и твёрдость (чем больше в составе триглицеридов SOS и POS типа, тем жир быстрее структурируется и твердеет).

Установили, что образец масла какао № 2 содержит более 47% POS и 30,1% SOS триглицеридов, образцы масла какао № 1, 3 и 5 имеют в своем составе от 42,9 до 43,7% триглицеридов POS-типа и от 26,3 до 26,8% триглицеридов SOS-типа, а масло какао № 4 и 6 имеет схожий триглицеридный состав.

Кислотное число масел какао не превышает 2,0 мг КОН/г, что позволяет спрогнозировать отсутствие окисления жировой фракции шоколадных изделий на протяжении традиционного срока их хранения.

Температура плавления всех образцов масла какао составила от 33,5 до 34,7 °С, благодаря этому готовая шоколадная продукция на их основе будет обладать хорошими органолептическими показателями – без ощущения «салистости» и «восковитости» при её употреблении.

Исследование характеристики кристаллизации жиров на приборе Дженсена – трудоёмкая и продолжительная операция, а получаемые результаты зависят от температуры окружающей среды, технических особенностей прибора и квалификации оператора. В этой связи параметры кристаллизации масла какао определили с помощью автоматизированного прибора MultiTherm фирмы «Buhler», позволяющего устанавливать коэффициент кристаллизации Бюлер (BCI), прогнозирующего поведение жира при кристаллизации. Выявили, что наибольшее значение коэффициента BCI имели образцы масла какао № 5 и 6. Известно, что чем больше значение коэффициента BCI, тем выше температура и скорость кристаллизации масла какао, следовательно, за счет сокращения времени прохождения изделий через охлаждающий тоннель, производительность линии увеличится [2]. Поскольку образцы масла какао № 1 и 4 по своим кристаллизационным свойствам уступают вышеуказанным образцам, темперирование шоколадных масс, приготовленных с их использованием, следует осуществлять при температуре на 1,0–1,5 °С ниже, чем полученных на основе образцов № 5 и 6.

Определение массовой доли твердых триглицеридов позволило установить, что самой высокой твердостью обладает образец масла какао № 2 (ТТГ при 20 °С составляет 81,0%), образцы № 4 и 6 наиболее мягкие (ТТГ при 20 °С – 65,4–70,4%), а масла какао № 1 и 3 имеют среднюю степень отверждения (ТТГ при 20 °С – 76,1–78,8%).

Сравнительный анализ показателей качества продуктов переработки какао-бобов выявил отличия в их качественных характеристиках. Поэтому считаем рациональным деление какао тёртого и масла какао на сорта в зависимости от их комплексного (суммарного) показателя качества – К (таблица 4).

Таблица 4.

Комплексный показатель качества различных образцов какао тёртого и масла какао

Table 4.

Comprehensive indicator of the quality of various samples of cocoa liquor and cocoa butter

Показатели качества | Quality indicator	Коэффициент весомости Weighting factor	Значение уровня качества Quality level value	Оценка образца №, балл Evaluation of sample №, score					
			1	2	3	4	5	6
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
Какао тёртое | Cocoa liquor								
Массовая доля влаги, % Mass fraction of moisture, %	2	1–3	6	6	4	6	4	4
Массовая доля жира, % Mass fraction of fat, %	7	1–3	14	21	21	21	7	21
Степень измельчения, % The degree of grinding, %	4	1–3	8	12	12	12	8	12
Показатель pH | pH value	6	1–3	12	18	18	18	12	18
Массовая доля общей золы, % Mass fraction of total ash,%	1	1–3	3	2	3	3	2	1
Температура застывания на приборе Дженсена, ºС Pour point on Jensen's device, ºС	5	1–3	10	15	15	10	5	15
Микробиологические показатели Microbiological indicators	3	1–2	6	6	6	6	3	3
Комплексный показатель качества, балл Comprehensive quality indicator, score	–	–	59	80	79	76	41	74

Продолжение табл. 4 | Continued table 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Масло какао | Cocoa butter								
Триглицеридный состав Triglyceride composition	4	1–3	12	12	12	8	12	8
Кислотное число | Acid number	2	1–3	6	6	6	6	4	4
Температура плавления Melting temperature	1	1–2	2	2	2	2	2	2
Коэффициент кристаллизации Бюлер Buhler crystallization coefficient	5	1–3	10	10	10	5	15	15
Массовая доля твердых триглицеридов Mass fraction of solid triglycerides	3	1–3	9	9	9	6	9	6
Комплексный показатель качества, балл Comprehensive quality indicator, score	–	–	39	39	39	27	42	35

Учитывая номенклатуру качественных характеристик, выявили относительную значимость (коэффициенты весомости) отдельных показателей какао тёртого и масла какао с учётом их влияния на технологию производства шоколадных изделий и потребительские характеристики готовой продукции.

Каждый показатель качества оценивается уровнем качества: 3 – отлично; 2 – хорошо; 1 – удовлетворительно. Количество баллов по единичному показателю качества определяется как произведение граф 2 и 3. Качество продукта переработки какао-бобов оценивается по сумме показателей и выражается в баллах.

Определили числовые значения уровней качества единичных показателей каждого образца какао тертого и масла какао, используя данные таблиц 1–3 и рассчитали комплексные показатели их качества. Установили, что наилучшими показателями качества обладают образцы какаотёртого № 2, 3 и 4, т. к. характеризуются высокой жирностью (более 53%) и оптимальным значением активной кислотности – pH ≥ 5,5 и образцы масла какао № 1–3 и 5 с оптимальными кристаллизационными свойствами и триглицеридным составом.

Дифференцировали какао-продукты на сорта в зависимости от величины K: какао тёртое – K ≥ 72 – высший сорт, 56 ≤ K < 72 – 1-й сорт, K < 56 – 2-й сорт; масло какао – K ≥ 35 – высший сорт, 23 ≤ K < 35 – 1-й сорт, K < 23 – 2-й сорт.

Заключение

Предложена система комплексной оценки качества продуктов переработки какао-бобов, используемых в качестве сырьевых компонентов в шоколадном производстве, и определена относительная значимость отдельных качественных показателей. Специалистам кондитерской отрасли рекомендуется рассмотреть возможность включения в систему оценки качества какао-продуктов и иных параметров, например, таких, как органолептические свойства, реологические показатели, наличие в составе эквивалентов масла какао с целью развития разработанной системы.

При этом важнейшей задачей является определение полной номенклатуры, характеризующей качество и безопасность продуктов переработки какао-бобов, и разработка отдельных межгосударственных стандартов, устанавливающих требования к какао тёртому и маслу какао.

ЛИТЕРАТУРА

1 Беккет С.Т. Шоколад и шоколадные изделия. Сырьё, свойства, оборудование, технологии; перевод с англ. под науч. ред. Т.В. Савенковой, Л.И. Рысевой. СПб.: Профессия, 2013. 708 с.

2 Мазукабзова Э.В., Линовская Н.В. Особенности кристаллизации масла какао и эквивалентов масла какао, используемых в производстве шоколадной глазури // Пищевые системы: теория, методология, практика. 2017. С. 195-200.

3 Минифай Б.У. Шоколад, конфеты, карамель и другие кондитерские изделия; перевод с англ. под общ. научной ред. Т.В. Савенковой. СПБ.: Профессия, 2005. 808 с.

4 Российский шоколадный рынок выходит из кризиса: растет импорт какао-сырья // Бизнес пищевых ингредиентов. 2018. № 1. С. 48-49.

5 Afoakwa E.O. Chocolate science and technology. John Wiley & Sons, 2016. 536 p.

6 Asselstine M., Mello J.M., Morales J.M., Papanikolopoulos K. Cocoa liquor, butter and powder production. 2016. URL: http://repository.upenn.edu/cbe_sdr/88

7 Caparosa M.H., Hartel R.W. Structure and properties of chocolate // Reference module in food science. 2018. P. 61-65. doi: 10.1016/B978-0-08-100596-5.22525-0

8 Beckett S.T., Fowler M.S., Ziegler G.R. Beckett's industrial chocolate manufacture and use. John Wiley & Sons, 2017. 800 p.

9 Ramel P.R., Campos R., Marangoni A.G. Effects of shear and cooling rate on the crystallization behavior and structure of cocoa butter: shear applied during the early stages of nucleation // Crystal Growth & Design. 2017. V. 18. № 2. P. 1002-1011. doi: 10.1021/acs.cgd.7b01472

10 Talbot G. Chocolate and cocoa butter – Structure and composition // Cocoa butter and related compounds. 2012. P. 1-33. doi: 10.1016/B978-0-9830791-2-5.50004-9

REFERENCES

1 Bekket S.T. Shokolad i shokoladnye izdeliya. Syr'yo, svojstva, oborudovanie, tekhnologii. [Chocolate and chocolate products. Raw materials, properties, equipment, technology]. Saint Petersburg, Professiya, 2013. 708 p. (in Russian).

2 Mazukabzova E.V., Linovskaya N.V. Features of crystallization of cocoa butter and cocoa butter equivalents are used in the production of chocolate coating. *Pishchevye sistemy: teoriya, metodologiya, praktika.* [Food systems: theory, methodology, practice]. 2017. pp. 195–200. (in Russian).

3 Minifaj B.U. Shokolad, konfety, karamel' i drugie konditerskie izdeliya [Chocolate, sweets, caramels and other confectionery products]. Saint Petersburg, Professiya, 2005. 808 p. (in Russian).

4 The Russian chocolate market is emerging from the crisis: the import of cocoa raw materials is growing // *Biznes pishchevyh ingredientov.* [Business of food ingredients]. 2018. no. 1. pp. 48-49. (in Russian).

5 Afoakwa E.O. Chocolate science and technology. John Wiley & Sons, 2016, 536 p.

6 Asselstine M., Mello J.M., Morales J.M., Papanikolopoulos K. Cocoa liquor, butter and powder production. 2016. Available at: http://repository.upenn.edu/cbe_sdr/88

7 Caparosa M.H., Hartel R.W. Structure and properties of chocolate. Reference module in food science. 2018. pp. 61-65. doi: 10.1016/B978-0-08-100596-5.22525-0

8 Beckett S.T., Fowler M.S., Ziegler G.R. Beckett's industrial chocolate manufacture and use. John Wiley & Sons, 2017. 800 p.

9 Ramel P.R., Campos R., Marangoni A.G. Effects of shear and cooling rate on the crystallization behavior and structure of cocoa butter: shear applied during the early stages of nucleation. Crystal Growth & Design. 2017. vol. 18. no. 2. pp. 1002-1011. doi: 10.1021/acs.cgd.7b01472

10 Talbot G. Chocolate and cocoa butter – Structure and composition. Cocoa butter and related compounds. 2012. pp. 1-33. doi: 10.1016/B978-0-9830791-2-5.50004-9

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Наталия В. Линовская к.т.н., ведущий научный сотрудник, лаборатория технологии производства шоколадных и сахарных кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, ул. Электрозаводская, 20, стр. 3, г. Москва, 107023, Россия, confect@mail.ru

Элла В. Мазукабзова аспирант, младший научный сотрудник, лаборатория технологии производства шоколадных и сахарных кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, ул. Электрозаводская, 20, стр. 3, г. Москва, 107023, Россия

Николай Б. Кондратьев д.т.н., главный научный сотрудник, отдел современных методов оценки качества, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, ул. Электрозаводская, 20, стр. 3, г. Москва, 107023, Россия

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Наталия В. Линовская написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Элла В. Мазукабзова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Николай Б. Кондратьев консультация в ходе исследования

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 23.08.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 16.10.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Nataliya V. Linovskaya Cand. Sci. (Engin.), leading researcher, laboratory of technology of production of chocolate and sugar confectionery, All-Russian Scientific Research Institute of Confectionery Industry – Branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, Electrozavodskaya, 20, bld.3, Moscow, 107023 , Russia, confect@mail.ru

Ella V. Mazukabzova postgraduate, junior researcher, laboratory of technology of production of chocolate and sugar confectionery, All-Russian Scientific Research Institute of Confectionery Industry – Branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, Electrozavodskaya, 20, bld.3, Moscow, 107023, Russia

Nikolay B. Kondratyev Dr. Sci. (Engin.), chief researcher, department of modern methods of quality assessment, All-Russian Scientific Research Institute of Confectionery Industry – Branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS,), Electrozavodskaya, 20, bld.3, Moscow, 107023 , Russia

CONTRIBUTION

Nataliya V. Linovskaya wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Ella V. Mazukabzova review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Nikolay B. Kondratyev consultation during the study

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 8.23.2018

ACCEPTED 10.16.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 663.5

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-219-224

Регулирование процесса фракционирования солодового дистиллята с применением функции Харрингтона

Всеволод А. Романов [1] dyvom@notsharingmy.info
Надежда В. Баракова [1] n.barakova@mail.ru

[1] Университет ИТМО, ул. Ломоносова, 9, г. Санкт-Петербург, 190002, Россия

Аннотация. Рассматривается нахождение зависимости, облегчающей регулирование процесса фракционирования солодового дистиллята. Обосновывается необходимость рассматривать в роли критериев качества одновременно объективные показатели (содержание примесей) и органолептические свойства, откуда вытекает потребность в едином критерии качества, основанном на экспертном мнении и имеющем числовое выражение. Методом функции Харрингтона был найден такой критерий, привязанный к модельному процессу фракционирования солодового дистиллята. Дистиллят готовился двойной перегонкой на установке «Доктор Губер» зрелой бражки из светлого солода, полученной с помощью реактивированных дрожжей «Дистиламакс MW» за 70 ч брожения при 24°С. Режим перегонки зрелой бражки был постоянным, но в ходе второй, фракционной, перегонки первый образец спирта делился на фракции по исходному (эталонному) режиму, а последующий образец фракционировался дробно, с шагом времени 20 мин, для оценки динамики выхода примесей: альдегидов, высших спиртов и эфиров. После определения примесей газохроматографическим методом находился обобщенный показатель по формуле линейной свертки значений концентрации примесей и соответствующих коэффициентов значимости. Коэффициенты находились с помощью набора нечетких правил, полученных методом функции Харрингтона. Тем самым логика коллегиального решения относительно первого, эталонного, и последующих, дробных, образцов дистиллята фиксировалась в виде упрощенной модели, и устанавливалась зависимость обобщенного показателя от времени сгонки, которая предоставляет обратную связь от экспертной оценки сенсорных характеристик дистиллята к режиму фракционной перегонки. Используя эту связь, возможно моделировать логику экспертной оценки дистиллята и так регулировать процесс фракционирования без дальнейшего сбора экспертного мнения.

Ключевые слова: фракционная перегонка, солодовый дистиллят, сенсорный профиль, обобщенный показатель, функция Харрингтона

Regulating a distilled malt spirit fractioning process using Harrington's desirability function

Vsevolod A. Romanov [1] dyvom@notsharingmy.info
Nadezhda V. Barakova [1] n.barakova@mail.ru

[1] ITMO University, 9 Lomonosova str., St. Petersburg, 190002, Russia

Abstract. In the study, a relation is found that eases the regulation of a distilled malt spirit fractionation process. The reasons are given for considering both the objective indicators (impurity content) and the organoleptic properties as quality criteria, which implies the need for a single quality criterion based on expert opinion and having a numerical expression. Using the Harrington desirability function method, such a criterion was found, tied to the model process of distilled malt spirit fractionation. The spirit was obtained by distilling twice on a Doctor Guber pot still a wash made from light barley malt and fermented with reactivated DistilaMax MW dry yeast for 70 hours at 24°C. The mode of distillation of the wash was constant, but during the second fractional distillation, the first sample of alcohol was divided into fractions according to the initial (reference) regime, and the next sample was fractionated in small batches, with a time step of 20 min, to estimate the dynamic uptake of by-products: aldehydes, esters, and higher alcohols. After impurity determination with gas chromatography, a generalized criterion was derived with the linear convolution formula from the by-product concentrations and the respective significance coefficients. The coefficients were found via a set of fuzzy rules constructed with the Harrington function method. The logic of collegial decisions regarding the first (standard) and the next (small batch) spirit samples was thus fixated in a simplified model, and the relation between stillage time and the generalized criterion was found, which provided feedback from the expert evaluated spirit sensory characteristics to the mode of fractioning. With the feedback loop, it is possible to model the logic of expert evaluation of the spirit and thus regulate the fractioning process without further need for expert evaluation.

Keywords:fractioning, distilled malt spirit, sensory profile, generalized criterion, Harrington function

Введение

Эффективность производства дистиллированного спирта во многом зависит от фракционной перегонки, изменяющей концентрации летучих веществ, в том числе большинства примесей, влияющих на органолептическое качество спирта. Теоретически путем опытных перегонок всегда можно добиться устойчивого состава дистиллята [1].

Следует отметить, что реальный процесс перегонки не подчиняется этому идеализированному правилу, и состав спиртовых паров, следовательно, и дистиллята, всегда иной, чем можно полагать из логически обоснованных экстраполяций. Предсказать эти явления в биотехнологическом эксперименте практически невозможно. Это делает контроль качества солодового дистиллята на стадии фракционной перегонки трудноосуществимым и длительным,

Для цитирования
Романов В.А., Баракова Н.В. Регулирование процесса фракционирования солодового дистиллята с применением функции Харрингтона //Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 219–224. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-219-224

For citation
Romanov V.A., Barakova N.V. Regulating a distilled malt spirit fractioning process using Harrington's desirability function.*Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 219–224. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-219-224

т. к. точный химический анализ множества проб требует значительного времени [1, 2].

Эффективность пищевого производства вообще зависит от соблюдения заданных параметров качества на всей технологической цепи. Параметрами качества могут служить такие объективные показатели, как себестоимость продукта и производительность. Предполагается, что в первом случае технология должна минимизировать выбранный критерий, во втором – максимизировать.

Среди многих других промышленных изделий пищевые продукты выделяются тем, что для последних важно не только удовлетворение объективных потребностей человека, но и соответствие субъективным предпочтениям – гедонический фактор. Поэтому в производстве продукта с комплексным составом, который вызывает сложное вкусовое впечатление, важна ориентация на гедонический фактор, связанный с этим впечатлением.

В пищевой промышленности выделяется пять групп критериев качества: физические, физико-химические, физиологические (пищевая ценность), технологические, органолептические.

Что касается оценки качества, то для нее существуют два основных метода: дифференциальный и комплексный. Дифференциальный метод основан на использовании единичных показателей качества, значения которых соотносятся с эталонными. Также оценивается базисный уровень качества: текущее качество ниже базисного уровня, если хотя бы один из единичных показателей меньше его эталона.

Комплексный метод основан на применении обобщающего показателя качества продукции, который представляет собой функцию от единичного (группового, комплексного) показателя качества продукции, но в качестве обобщающего может быть использован главный показатель, отражающий основное назначение продукции, – интегральный или средневзвешенный [3].

Интегральный показатель применяется, чтобы установить суммарный полезный эффект от потребления продукции [4, 5]. Для его вычисления применяются свёрточные методы: линейный, геометрический и экспоненциальный. Показатель может включать весовые коэффициенты и скрытые переменные. Поскольку такие переменные трудно найти простыми расчетами, используются т. н. методы вычислительного интеллекта, к которым относятся методы ИИ и экспертные [6–9].

Экспертные методы и системы, основанные на рекомендациях квалифицированных экспертов, успешно применяются наряду с методами искусственного интеллекта, поскольку многие производственные задачи представляют собой многообразие, включающее целый срез смежных отраслей знаний и профессионального опыта. Ценным преимуществом в этом свете является то, что суждения экспертов логически обоснованы и проверяемы в отличие от ИИ, выдающего лишь числовые значения скрытых переменных.

Наиболее часто экспертный метод используется в оценке качества пищевого продукта, проводимой дегустаторами, с применением методов и условий, в определенной степени характеризующих точность и воспроизводимость результатов.

Сенсорный анализ позволяет сравнительно быстро оценивать качество сырья и продукции, при котором не требуется применение точных методов анализа.

Одним из методов сенсорного анализа является балльный метод, который позволяет найти уровень качества как по единичному, так и по интегральному показателю. Однако неизвестно, какой уровень качества должен служить целевым, поскольку возможности пищевого производства сильно различаются.

Поэтому как теоретическое, так и практическое значение имеет изучение биотехнологического производства на модельных процессах. Это предполагает, что на стадии проектирования технологии следует экспериментально установить максимум возможностей имеющегося сырья и оборудования по развитию выбранного целевого фактора данной продукции [3].

Гедоническому фактору принципиально не присуща формальная трактовка, поэтому в проект технологии можно заложить лишь общие требования к сенсорному профилю вида «сбалансированный, без явных пороков» и нестрого размеченную шкалу степени соответствия: «удовлетворяет требования», «не удовлетворяет», «удовлетворяет частично». Разработка технологии в этом случае предполагает изготовление экспериментальной партии для определения технологически доступных режимов и одновременно составления выборки образцов готовой продукции [5], а затем применение выборки как базиса экспертной оценки, которая в данном случае имитирует выбор модельного потребителя.

Один из пищевых продуктов, требования к сенсорному профилю которого в целом ясны, но трудно представимы в формальном виде, – солодовый дистиллят. Получается он двойной простой перегонкой зрелой бражки из соложеного

ячменя. Во время второй перегонки проводится разделение на три фракции: головную, среднюю, хвостовую. Конечным продуктом является средняя фракция, крепостью 60% и более, содержащая множество сенсорно значимых веществ, определяющих своеобразный сенсорный профиль дистиллята.

В головной фракции содержится наибольшее количество эфиров, переходящих и в среднюю фракцию. Поскольку эти вещества влияют на органолептику дистиллята, важно, чтобы бóльшая часть эфиров осталась в головной фракции, но достаточное количество содержалось и в средней фракции.

В хвостовой фракции содержится наибольшее количество высших спиртов, которые также частично попадают в среднюю фракцию и влияют на сенсорные качества дистиллята.

Формирование сенсорного профиля начинается с переработки сырья (солода), параметры которого влияют на состав сусла, далее – ход брожения и в конечном счете – сенсорный профиль готового дистиллята [8, 9]. Поэтому данный эксперимент призван показать возможность подбором сырья определенного состава обеспечить формирование оптимального согласно экспертной оценке сенсорного профиля дистиллята.

Для работы с экспертными оценками часто используется нечеткая логика. Самое распространенное в биотехнологии применение нечеткой логики – установление градаций пригодности и непригодности тех или иных показателей [6].

Пусть далее такие характеристики обозначаются x. Тогда технологические режимы, позволяющие получить те или иные выходные показатели x, можно задать как:

$$f = \frac{1}{1+\left(e^{\frac{a}{b}}e^{-x}\right)^{b}},$$

где f – функция x; x – выходной показатель; e – основание натурального логарифма; a, b – произвольные коэффициенты.

Распространенным способом вычисления $f(x)$ является подбор независимых переменных a и b. Такой способ более удобен в автоматизированных вычислениях с использованием ИИ. Наряду с первым существует способ нахождения удовлетворительно достоверного аппроксиматора $\hat{C}$. Для этого можно использовать более простые формулы, в частности, линейной свертки [7].

Материалы и методы

Применялся светлый ячменный солод (таблица 1).

Таблица 1.

Физико-химические показатели солода

Table 1.

Physico-chemical characteristics of malt

Показатель | Indicator	Значение Value
Влажность, % | Humidity, %	9,3
Экстрактивность, % | Extract, %	80,5
pH конгрессного сусла pH of the Congress wort	5,8
Белок, % | Protein, %	10,6
Свободный α-аминный азот, г×дм$^{-3}$ Free α-amino nitrogen, g×dm^{-3}	154

Солод измельчался в двухвальцовой дробилке и смешивался с фильтрованной активированным углем водой температурой (45±1) °С в массовом соотношении 1,0∶3,5 в оборудованном лопастной мешалкой аппарате. Смесь выдерживалась 1 ч при температуре (63±1) °С. Готовое сусло перекачивалось в фильтр-чан, снабженный щелевым ситом для поддержки фильтрующего слоя дробины, а затем направлялось сквозь фильтрующий слой обратно в аппарат, в котором велось затирание, осветляясь при перепаде давления 10 кПа.

Сухие дрожжи «Дистиламакс mw» после регидратирования дистиллированной водой температурой 35 °С (в количестве 10 см^3×г$^{-1}$ дрожжей) вносили из расчета 1 г исходных сухих дрожжей на 1 дм^3 сусла при 33 °С.

До, во время (один раз в сутки) и после брожения определялись: активная кислотность при помощи автоматического титратора «Метром-851 титрино-плюс» в режиме pH-метрии; содержание сухих веществ – на рефрактометре «Симадзу» PTR 46; количество сбраживаемых углеводов – методом йодометрического титрования; количество свободного α-аминного азота – методом с нингидрином при длине волны 570 нм на фотометре «ЗОМЗ» КФК-3–01. Дополнительно измерялась крепость с помощью пикнометров.

Брожение продолжалось 68 ч при 24°С. Немедленно по окончании брожения зрелая бражка нагревалась до кипения при перемешивании для возмущения дрожжевого осадка и с двухступенчатым охлаждением паров водяным холодильником. При появлении конденсата в изливе холодильника начинался сбор дистиллята и завершался, когда текущая крепость падала ниже 2% об.

После получения двух идентичных дистиллятов из различного сырьяпо исходной методике, описанной выше, в образцах определялось содержание групп основных сенсорно значимых веществ: альдегидов, высших спиртов, метилового спирта и эфиров, а также крепость.

Концентрации сенсорно значимых веществ определялись на хроматографе «Кристалл-2000 М» с дозатором ДАЖ-2 М и колонкой «Хьюлетт-Паккард» FFAP в фазе 99,999% азота (ос. ч.) Для расчета концентраций выбирались пики с расхождением ≤ 10%.

В одном из образцов при второй (фракционной) перегонке сбор дистиллята также начинался с момента начала конденсации, но один раз в 20 минут сборник погона опорожнялся, в результате чего после 200 мин перегонки с постоянным выходом дистиллята 0,1 дал×ч$^{-1}$ было получено одиннадцать образцов текущего погона, в которых также определялось содержание сенсорно значимых веществ и крепость (таблицы 3 и 4).

Планирование сенсорного профиля солодового дистиллята возможно только тогда, когда известна зависимость между изменениями параметров технологии дистиллята и вытекающими из них вариациями сенсорного профиля. Такие зависимости в ходе настоящего исследования получались методом функции Харрингтона, в котором главным выходным показателем эксперимента и непосредственным критерием оценки служат частные показатели (произведение наиболее важных объективных показателей и соответствующих коэффициентов значимости) и единый обобщенный показатель $\hat{C}$ – сумма частных показателей [3]. Первым для сенсорного профиля дистиллята, полученного с исходными параметрами технологических режимов, определялся обобщенный показатель, который принимался за эталон. К нему должен был стремиться обобщенный показатель сенсорного профиля дистиллята из другого солода

Поскольку целью эксперимента не было нахождение корреляций между составом сырья и конкретными показателями дистиллятов, а только между составом сырья и экспертной оценкой сенсорных характеристик, определялся обобщенный показатель $\hat{C}$ сенсорных качеств эталонного дистиллята из исследуемого солода, что позволило учесть общую приемлемость сенсорных характеристик и отразить относительную значимость каждой характеристики для общей картины с помощью коэффициентов значимости μ.

Для определения коэффициентов проводилась сессия сбора экспертного мнения [10]. Показатели эталонного дистиллята и соответствующие коэффициенты сведены в таблицу 2.

Таблица 2.

Экспертная оценка эталонного дистиллята

Table 2.

Expert evaluation of the reference distillate

Показатель, мг/дм^3 Indicator, mg / dm^3	Значение Value	Коэффициент значимости μ Significance factor μ
Сложные эфиры Ester	42,0	1,00
Ацетальдегид Acetaldehyde	35,4	0,20
Высшие спирты Higher alcohols	1896,2	0,20
Обобщенный показатель Ĉ The generalized index C	492,0	

Результаты и обсуждение

После замены сырья эталонного дистиллята на новое получался другой дистиллят с «дробным» фракционированием, как описано выше. Физико-химические показатели образцов, полученных при этом, приведены в таблице 3. Они также оценивались с привлечением экспертного мнения.

Таблица 3.

Концентрации примесей и обобщенные показатели сенсорного профиля образцов фракционного дистиллята

Table 3.

Impurity concentrations and generalized criteria of fractionated distillate samples

	Крепость Concentration	Средние эфиры Esters	Высшие спирты Higher alcohols	Альдегиды Aldehydes	Обобщенный показатель $\hat{C}$ Generalized index C
μ		1,0	0,2	0,2	
	94,7	11,6	120,5	0,3	35,76
	90,2	14,3	510,1	0,1	116,34
	87,6	19,8	606,7	0,7	141,28
	83,4	16,0	885,2	2,3	193,50
	82,8	22,2	914,0	1,4	205,28
	78,8	30,9	931,8	1,0	217,46
	77,0	18,3	1143,6	0,8	247,18
	69,2	10,0	1276	1,2	265,44
	66,0	22,9	1650,3	1,6	353,28
	62,4	30,4	1722,5	5,2	375,94
	55,6	21,1	1980,8	3,4	417,94
	51,2	37,4	2324,3	2,2	502,70

Из данных таблицы 3 следует, что сенсорный профиль в итоге сравнялся по приемлемости с эталонным дистиллятом (и эталонное, и новое значение близко 500). Также видно, что содержание альдегидов и эфиров в образцах текущего погона заметно колеблется, хотя концентрация альдегидов остается небольшой в абсолютном выражении. В то же время значение обобщенного показателя сенсорного профиля не склонно к колебаниям. Это объясняется тем, что при расчете обобщенного показателя текущего образца фракционного дистиллята оценивается цельная картина приемлемости сенсорного профиля. Также можно заметить, что характер зависимости обобщенного показателя сенсорного профиля от количества примесей аддитивен, поэтому основной вклад вносит (несмотря на понижающий коэффициент 0,2) содержание высших спиртов в текущем погоне, которое постоянно растет в отличие от содержания альдегидов и эфиров.

Также при сравнении обобщенных показателей было обнаружено, что фракционированные образцы делятся на четыре группы по обобщенному показателю сенсорного профиля: 110–140; 190–220; 250–260; > 350. Это говорит о том, что зависимость обобщенного показателя сенсорного профиля фракционного дистиллята от времени имеет почти линейные участки. Следовательно, режим фракционирования может быть изменен на один шаг по оси времени в ту или другую сторону для компенсации несоответствия показателей сырья, а равно полупродуктов, полученных на всех технологических стадиях, и возвращения сенсорным показателям продукции требуемого уровня приемлемости, т. е. доведения обобщенного показателя до эталона, в данном случае – 492 (таблица 3).

Коррекция сенсорного профиля на данной стадии ведется следующим образом. Не обращаясь вновь к экспертному мнению, можно оперативно принять решение об изменении режима фракционирования (досрочном прерывании или, напротив, продолжении процесса).

Теперь возможно приступить к коррекции изменением режима фракционирования, используя экспериментально найденную корреляцию (рисунок 1), аналогичную описанной, для приведения концентраций примесей к вновь установленному требуемому значению.

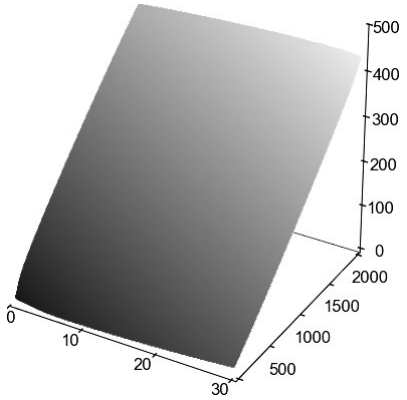


Рисунок 1. График зависимости обобщенного показателя сенсорного профиля от концентрации высших спиртов и эфиров в образцах

Figure 1. Graph of dependence of generalized indicator of sensory profile on concentration of higher spirits and ethers in samples

Выводы

Предложенный метод оценки качества через обобщенный целевой показатель, учитывающий как органолептическую оценку продукта, так и его объективные показатели, которые, в свою очередь, связаны с технологическим процессом (в данном случае – фракционной перегонкой), возможно применять на любой стадии технологии солодового дистиллята при условии, что предварительно получена зависимость обобщенного показателя продукта данной стадии от технологических режимов, влияющих на сенсорные качества. Далее обращение к экспертам не понадобится, т. к. найденная зависимость моделирует оценку ими любого сходного образца.

ЛИТЕРАТУРА

1 Christoph N., Bauer-Christoph C. Flavour of spirit drinks: raw materials, fermentation, distillation, and ageing // Flavours and Fragrances: Chemistry, Bioprocessing and Sustainability; ed. Berger R.G. Springer, 2007. P. 219–240.

2 Robichaud J., Bleibaum R.N., Thomas H. Cracking the consumer code linking winemakers to consumers to increase brand loyalty // Proceedings of the 13th Australian Wine Industry Technical Conference. 2005.

3 ГОСТ 15467–79. Управление качеством продукции. Основные понятия, термины и определения. М.: Стандартинформ, 2009.

4 Дилигенский Н.В., Дымова Л.Г., Севастьянов П.В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология. М.: Машиностроение-1, 2004. 488 с.

5 Григорьева А.А., Григорьева А.П. Математическое обеспечение информационной системы оценки инноваций на базе теории нечетких множеств // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов Международной научно-практической конференции. Томск: Томский политехнический университет, 2012. Т. 2. С. 77–79.

6 РД 50.1.028. Методология функционального моделирования IDEF0. М.: ИПК издательство стандартов, 2014. 75 с.

7 Володин А.А. Системный анализ и управление сложными биосистемами на базе нейро-нечетких регуляторов. Ставрополь: СКФУ, 2014. 214 с.

8 Jaeger S.R., Cardello A.V., Chheang S.L., Beresford M.K. et al. Holistic and consumer-centric assessment of beer: A multi-measurement approach // Food Research International. 2017. V. 99. № 1. P. 287–297. doi: 10.1016/j.foodres.2017.05.004

9 Востриков С.В., Коростелев А.В., Кучменко Т.А. и др. Изучение состава ароматообразующих компонентов спирта-виски с помощью сенсорных систем с искусственным интеллектом // Производство спирта и ликероводочных изделий. 2010. № 4. С. 46–48.

10 Романов В.А., Баракова Н.В. Подбор технологических параметров для получения солодового дистиллята с наиболее приемлемым сенсорным профилем // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2017. № 4 (34). С. 53–60.

REFERENCES

1 Christoph N., Bauer-Christoph C. Flavour of spirit drinks: raw materials, fermentation, distillation, and ageing. Flavours and Fragrances: Chemistry, Bioprocessing and Sustainability; ed. Berger R.G. Springer, 2007. pp. 219–240.

2 Robichaud J., Bleibaum R.N., Thomas H. Cracking the consumer code linking winemakers to consumers to increase brand loyalty. Proceedings of the 13th Australian Wine Industry Technical Conference. 2005.

3 GOST 15467–79. Upravlenie kachestvom produkcii. Osnovnye ponyatiya, terminy i opredeleniya [State Standard 15467–79. Product quality management. Basic concepts, terms and definitions]. Moscow, Standartinform, 2009. (in Russian).

4 Diligensky N.V., Dymova L.G., Sevast'yanov P.V. Nechetkoe modelirovanie i mnogokriterial'naya optimizaciya proizvodstvennyh sistem v usloviyah neopredelennosti: tekhnologiya, ehkonomika, ehkologiya [Fuzzy modeling and multicriterial optimization of production systems under uncertainty: technology, economy, ecology]. Moscow, Mashinostroyeniye-1, 2004. 488 p. (in Russian).

5 Grigor'eva A.A., Grigor'eva A.P. Mathematical background of a fuzzy set based system for innovation assessment. Innovacionnye tekhnologii i ehkonomika v mashinostroenii [Innovative technologies and economics in engineering: a collection of works of the International Scientific and Practical Conference]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University, 2012. vol. 2. pp. 77–79. (in Russian).

6 RD 50.1.028. Metodologiya funkcional'nogo modelirovaniya IDEF0 [RD 50.1.028. Methodology of functional modeling IDEF0]. Moscow, IPK Publishing Standards, 2014. 75 p. (in Russian).

7 Volodin A.A. Sistemnyj analiz i upravlenie slozhnymi biosistemami na baze nejro-nechetkih regulyatorov [System analysis and control of complex systems with neuro-fuzzy controllers]. Stavropol, North Caucasus Federal University, 2014. 214 p. (in Russian).

8 Jaeger S.R., Cardello A.V., Chheang S.L., Beresford M.K. et al. Holistic and consumer-centric assessment of beer: A multi-measurement approach. Food Research International. 2017. vol. 99. no. 1. pp. 287–297. doi: 10.1016/j.foodres.2017.05.004

9 Vostrikov S.V., Korostelyov A.V., Kuchmenko T.A. et al. A study of whisky spirit flavour active compounds with artificial intelligence sensory systems. *Proizvodstvo spirta i likerovodochnyh izdelij* [Manufacture of ethanol and infusion beverages]. 2010. no. 4. pp. 46–48. (in Russian).

10 Romanov V.A., Barakova N.V. Choosing processing parameters for obtaining a distilled malt spirit with maximum sensory profile acceptability. *Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Seriya "Processy i apparaty pishchevyh proizvodstv"* [Scientific journal NRU ITMO. A series of "Processes and devices of food production"]. 2017. no. 4 (34). pp. 53–60. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Всеволод А. Романов аспирант, кафедра пищевой биотехнологии продуктов из растительного сырья, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, ул. Ломоносова, 9, г. Санкт-Петербург,190002,Россия, dyvom@notsharingmy.info

Надежда В. Баракова к.т.н., доцент, кафедра пищевой биотехнологии продуктов из растительного сырья, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, ул. Ломоносова, 9, г. Санкт-Петербург, 190002, Россия, n.barakova@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Всеволод А. Романов написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Надежда В. Баракова консультация в ходе исследования

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 29.08.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 25.10.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Vsevolod A. Romanov graduate student, department of biotechnology of products from vegetable raw materials, ITMO University, Lomonosova str., 9, St.Petersburg, 191002, Russia, dyvom@notsharingmy.info

Nadezhda V. Barakova Cand. Sci. (Engin.), department of biotechnology of products from vegetable raw materials , ITMO University, Lomonosova str., 9, St.Petersburg, 191002, Russia, n.barakova@mail.ru

CONTRIBUTION

Vsevolod A. Romanov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Nadezhda V. Barakova consulting the researcher

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 8.29.2018

ACCEPTED 10.25.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 637

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-225-228

Технология масла кислосливочного с фитокомпонентами

Ольга И. Долматова [1] olgadolmatova@rambler.ru
Ксения А. Рудометкина [1] meatech@yandex.ru

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Ассортимент сливочного масла в России традиционно содержал кислосливочное масло, изготовляемое методом сбивания сливок. В настоящее время масло в большей степени производят методом преобразования высокожирных сливок. На полках магазинов помимо сладкосливочного и кислосливочного масел можно увидеть сливочные масла с добавлением дополнительных вкусовых компонентов. Фитокомпоненты обладают высокими антиоксидантными свойствами и нашли широкое применение в пищевой промышленности. Введение в продукт данного рецептурного ингредиента позволяет обогатить продукт ценными нутриентами и повысить стойкость последнего при хранении. Предложена рецептура масла кислосливочного с фитокомпонентами содержащая высокожирные сливки, закваску, соль поваренную, фитокомпоненты, витамины, стабилизатор, эмульгатор. В состав фитокомпонентов входит сухая смесь зелени петрушки, укропа и лука-порея. Представляет интерес исследование антиоксидантной активности фитокомпонентов. Высушенные в тени части растений были измельчены до размера частиц 2,5 ± 1,5 мм. Экстракты растений были получены методом мацерации с использованием дистиллированной воды. Полученные экстракты перед исследованием фильтровали. Определен показатель антиоксидантной активности водного экстракта фитокомпонентов – 0,271 мг/г. Проведено сравнение полученных результатов с известными показателями других растений. В качестве объектов сравнения взяли наиболее используемые травы в пищевой промышленности: солодка, шафран, чабрец, зверобой, ромашка аптечная, мелиса. Установлено, что смесь укропа, петрушки и лука-порея имеет высокий антиоксидантный показатель и минимальные ограничения при употреблении. Определена оптимальная дозировка смеси трав 1,0–1,5% и пищевой поваренной соли – 1% (показатель согласно ГОСТ 32899–2014 для зелени и их смесей составляет 0,5–8,0%, для хлористого натрия – не более 2%). Разработана технология производства масла кислосливочного с фитокомпонентами. Изучены показатели его качества, определен срок годности масла.

Ключевые слова: технология, кислосливочное масло, фитокомпонент

Technology of acid-bearing oil with phytocomponents

Olga I. Dolmatova [1] olgadolmatova@rambler.ru
Ksenia A. Rudometkina [1] meatech@yandex.ru

1 Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The assortment of butter in Russia traditionally contained anhydrous butter produced by the method of knocking cream. At present, butter is produced to a greater extent by the conversion of high-fat cream. On the shelves of stores, besides the sweetening and acidic oils, you can see butter butter with the addition of additional flavor components. Fito components have high antioxidant properties and are widely used in the food industry. Introduction to the product of this recipe ingredient allows you to enrich the product with valuable nutrients and increase the stability of the latter when stored. The recipe of oil of the acidic and phytocomponents containing high-fat cream, leaven, salt, cooked phytocomponents, vitamins, stabilizer, emulsifier is proposed. The phytocomponent composition includes a dry mixture of parsley, dill and porridge. It is of interest to study the antioxidant activity of phyto-components. The dried parts of the plants were shredded to a particle size of 2.5 ± 1.5 mm. Plant extracts were obtained by maceration using distilled water. The extracts were filtered before the study. An indicator of the antioxidant activity of the aqueous extract of phyto-components was determined – 0.271 mg / g. A comparison of the obtained results with known indices of other plants is carried out. As the objects of comparison took the most used herbs in the food industry: sweet, saffron, thyme, St. John's wort, chamomile chemist, melissa. It has been established that the mixture of dill, parsley and porridge meal has a high antioxidant index and minimal restrictions when used. The optimal dosage of the mixture of herbs is 1.0 – 1.5 % and food cooking salt – 1 % (indicator according to GOST 32899–2014 for greenery and their mixtures is 0.5 – 8.0 %, for sodium chloride – no more than 2 %) The technology of production of oxygen-containing oil with phytocomponents is developed. The indicators of its quality have been studied, the shelf life of the oil has been determined.

Keywords:technology, acid oil, phytocomponent

Введение

Ассортимент сливочного масла в России традиционно содержал кислосливочное масло, изготовляемое методом сбивания сливок [1].

В настоящее время масло в большей степени производят методом преобразования высокожирных сливок. На полках магазинов помимо сладкосливочного и кислосливочного масла можно увидеть сливочные масла с добавлением дополнительных вкусовых компонентов.

Согласно ГОСТ 32899-2014 допускается изготавливать кислосливочное масло с вкусовыми компонентами с добавлением стабилизаторов, эмульгаторов, красителей и ароматизаторов.

Изучены работы ученых по применению вкусовых компонентов, в том числе фитокомпонентов [2–6].

Наш организм не способен сам синтезировать аскорбиновую кислоту, каротиноиды, флавоноиды и другие фенольные вещества. Поэтому растительная пища служит для человека источником не только питательных веществ, но и антиоксидантов [7–10].

Фитокомпоненты обладают высокими антиоксидантными свойствами и нашли широкое применение в пищевой промышленности.

Для цитирования

Долматова О.И., Рудометкина К.А. Технология масла кислосливочного с фитокомпонентами // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 225–228. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-225-228

For citation

Dolmatova O.I., Rudometkina K.A. Technology of acid-bearing oil with phytocomponents. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 225–228. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-225-228

Введение в продукт данного рецептурного ингредиента позволяет обогатить продукт ценными нутриентами и повысить стойкость последнего при хранении.

Материалы и методы

Объектами исследования являются сырье для производства масла, кислосливочное масло с фитокомпонентами.

Оценку качества готового продукта проводили по органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 22935-3-2011; ГОСТ Р ИСО 2446-2011; ГОСТ 3624-92; ГОСТ 32899-2014.

Определение массовой доли антиоксидантов проводили амперометрическим способом.

Результаты и обсуждение

Предложена рецептура масла кислосливочного с фитокомпонентами, содержащая высокожирные сливки, закваску, соль поваренную, фитокомпонент, витамины, стабилизатор, эмульгатор.

Фитокомпонент содержит сухую смесь зелени петрушки, укропа и лука-порея. Сушеные овощи и зелень хорошая замена свежим в осенний и зимний период. Насыщенный вкус и аромат гармонично сочетаются с молочной смесью. Сушеный укроп, петрушка, лук сохраняют большинство полезных свойств свежей зелени.

Представляет интерес исследование антиоксидантной активности смеси фитокомпонентов. Высушенные в тени части растений были измельчены до размера частиц 2,5 ± 1,5 мм. Экстракты растений были получены методом мацерации с использованием дистиллированной воды. Полученные экстракты перед исследованием фильтровали.

Определен показатель антиоксидантной активности водного экстракта фитокомпонентов – 0,271 мг/г (рисунок 1). В основе данной методики лежит амперометрический способ определения содержания антиоксидантов, заключающийся в измерении электрического тока, возникающего при окислении исследуемого вещества на поверхности рабочего электрода при определенном потенциале, и сравнении полученного сигнала с сигналом стандарта, измеренного в тех же условиях.

Проведено сравнение полученных результатов антиоксидантной активности фитокомпонентов с известными показателями других растений [11].

В качестве объектов сравнения взяли наиболее используемые травы в пищевой промышленности: солодка, шафран, чабрец, зверобой, ромашка аптечная, мелиса (таблица 1).

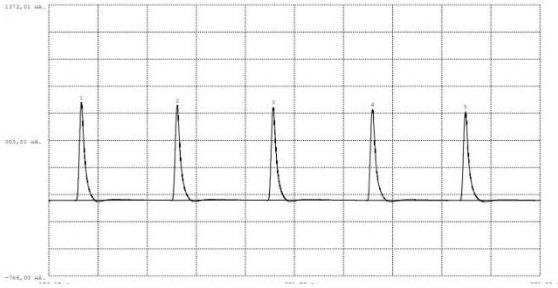


Рисунок 1. Антиоксидантная активность фитокомпонентов

Figure 1. Antioxidant activity of phytocomponents

Таблица 1.

Антиоксидантная активность водных экстрактов растений

Table 1.

Antioxidant activity of aqueous plant extracts

Наименование Name	Антиоксидантная активность, мг/г Antioxidant activity, mg/g
Солодка | Licorice	0,087
Шафран | Saffron	Меньше предела обнаружения Less than detection limit
Чабрец | Thyme	0,226
Зверобой | Hypericum	0,305
Ромашка аптечная Chamomile pharmacy	0,215
Мелиса | Melis	0,160
Смесь (укроп, петрушка, лук-порей) Mixture (dill, parsley, leek)	0,271

Как видно из таблицы 1, не все лекарственные растения проявляют высокую антиоксидантную активность.

Повышенной антиоксидантной активностью отличается зверобой – 0,305 мг/г. Однако листья зверобоя считаются слаботоксичными, поэтому длительное употребление его противопоказано, также имеются ограничения для людей в зависимости от возраста и группы здоровья. Установлено, что смесь укропа, петрушки и лука-порея имеет высокий антиоксидантный показатель и минимальные ограничения при употреблении.

Определена оптимальная дозировка смеси трав 1,0–1,5% и пищевой поваренной соли – 1% (показатель согласно ГОСТ 32899-2014 для зелени и их смесей составляет 0,5–8,0%, для хлористого натрия – не более 2%).

Масло с фитокомпонентами вырабатывали в соответствии с технологической схемой (рисунок 2).

Органолептические показатели продукта представлены в таблице 2.

Физико-химические показатели кислосливочного масла с фитокомпонентами представлены в таблице 3.

Таблица 2.

Органолептические показатели масла кислосливочного с фитокомпонентами

Table 2.

Organoleptic parameters of oxygen-containing oil with phytocomponents

Показатель | Indicator	Характеристика | Characteristic
Консистенция и внешний вид Consistency and appearance	Пластичная с включением частиц размером от 1 до 4 мм фитокомпонента Plastic with the inclusion of particles in the size from 1 to 4 mm phytocomponent
Вкус и запах | Taste and smell	Кислосливочный, соленый, со вкусом и запахом добавленного фитокомпонента Honeycomb, salty, with taste and smell of added phytocomponent
Цвет | Colour	Желтый с вкраплениями частиц зеленого цвета различных оттенков Yellow with splashes of green particles of various shades

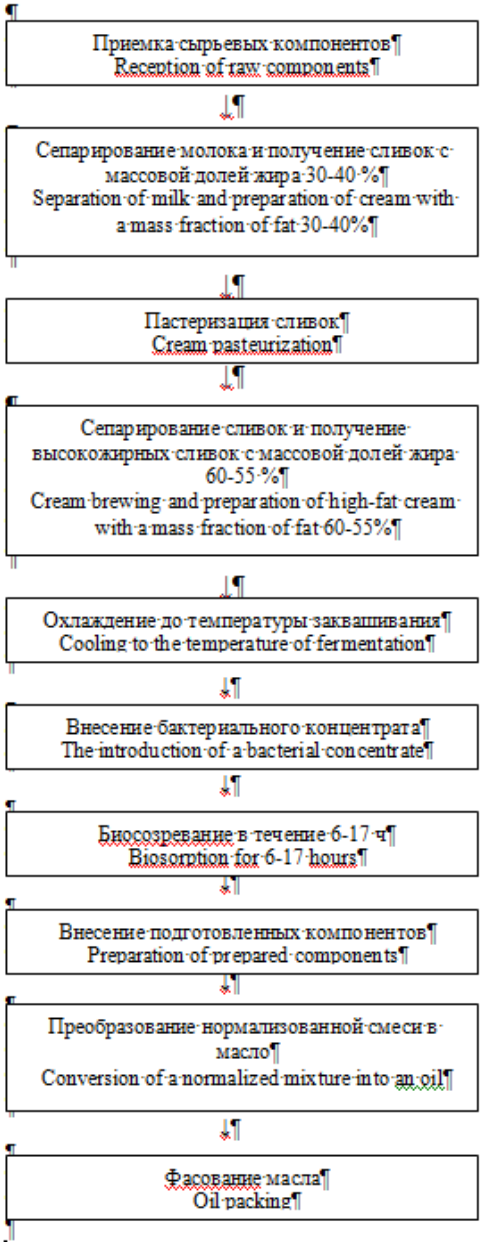


Рисунок 2. Технология масла кислосливочного с фитокомпонентами

Figure 2. Technology of acid oil with phytocomponents

Таблица 3.

Физико-химические показатели масла кислосливочного с фитокомпонентами

Table 3.

Physicochemical indices of oxygen-containing oil with phytocomponents

Показатель | Index	Количество Quantity
Массовая доля жира, %, не менее Mass fraction of fat, %, no less	55,0
Массовая доля сухих веществ, %, не менее Mass fraction of solids, %, no less	5,5
Массовая доля влаги, %, не более Mass fraction of moisture, %, no more	39,5

Установлено соответствие масла требованиям ГОСТ 32899-2014. Определен срок годности продукта, упакованного в алюминиевую каширированную фольгу – 15 сут при температуре (3±2) °С.

Заключение

Изучена антиоксидантная активность фитокомпонента (смесь укропа, петрушки, лука-порея).

Определена оптимальная дозировка смеси трав в рецептуре масла кислосливочного со вкусовыми компонентами.

Разработана технология производства масла кислосливочного с фитокомпонентами.

ЛИТЕРАТУРА

1 Вышемирский Ф.А. Производство масла из коровьего молока в России. СПб.: ГИОРД, 2010. 288 с.

2 Давыденко В.А., Байматова Е.В. Творожные массы с пряностями: анализ потребительских предпочтений жителей Кемерово и Кемеровской области // Молочная промышленность. 2014. № 9. С. 56–57.

3 Касьянов Г.И., Кизим И.Е. Применения пряно-ароматических и лекарственных растений в пищевом производстве // Молочная промышленность. 2010. № 5. С. 56.

4 Shi J. Functional Food Ingredients and Nutraceuticals: Processing Technologies; second edition. CRC Press, 2015. P. 639–660.

5 Polyanskikh S.V., Ilyina N.M., Grebenshchikov A.V., Danyliv M.M. et al. Products of animal origin with vegetable components // Indian Journal of Science and Technology. 2016. V. 9. № 39. P. 103431.

6 Dolmatova O.I., Golubeva L.V. Scientific and practical aspects of the use of new raw materials in the production of oil products with a prolonged shelf life. Raleigh, Nord Carolina: Lulu Press, 2015.102 p.

7 Шарова Е.И. Антиоксиданты растений: учеб. пособие. СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 2016. 140 с.

8 Черноусова О.В., Кривцова А.И., Кучменко Т.А. Определение антиоксидантной активности белого чая // Вестник ВГУИТ. 2018. Т.80. № 1. С. 133–139.

9 Rietveld A., Wiseman S. Antioxidant effects of tea: evidence from human clinical trials // The Journal of nutrition. 2003. V. 133. № 10. P. 3285S–3292S.

10 Zheng H., Sun X., Guo N., Li R. Evaluation of antibacterial and antioxidant activity of extracts of eelgrass Zostera marina Linnaeus // African Jornal of Microbiology Research. 2014. V. 8. № 23. P. 2315–2321.

11 Аронбаев Д.М., Тен В.А., Юлаев М.Ф., Аронбаев С.Д. Исследование антиоксидантной активности растительности Ферганской долины // Молодой ученый. 2015. № 4. С. 30–34.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ольга И. Долматова к.т.н., доцент, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, olgadolmatova@rambler.ru

Ксения А. Рудометкина студент, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, meatech@yandex.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Ольга И. Долматова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Ксения А. Рудометкина обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 17.10.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 29.11.2018

REFERENCES

1 Vyshemirsky F.A. Proizvodstvo masla iz korov'ego moloka v Rossii [Production of cow's milk oil in Russia]. Saint Petersburg, GIORD, 2010. 288 p. (in Russian).

2 Davydenko V.A., Baymatova E.V. Cheesecakes with spices: analysis of consumer preferences of the inhabitants of Kemerovo and the Kemerovo region. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry]. 2014. no. 9. pp. 56–57. (in Russian).

3 Kasyanov G.I., Kizim I.E. Applications of spicy aromatic and medicinal plants in food production. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry]. 2010. no. 5. pp. 56. (in Russian).

4 Shi J. Functional Food Ingredients and Nutraceuticals: Processing Technologies; second edition. CRC Press, 2015. pp. 639–660.

5 Polyanskikh S.V., Ilyina N.M., Grebenshchikov A.V., Danyliv M.M. et al. Products of animal origin with vegetable components. Indian Journal of Science and Technology. 2016. vol. 9. no. 39. pp. 103431.

6 Dolmatova O.I., Golubeva L.V. Scientific and practical aspects of the use of new raw materials in the production of oil products with a prolonged shelf life. Raleigh, Nord Carolina, Lulu Press, 2015.102 p.

7 Sharova E.I. Antioxidants of plants: a manual. Saint Petersburg, Publishing House of Saint Petersburg University. 2016. 140 p. (in Russian).

8 Chernousova O.V., Krivtsova A.I., Kuchmenko T.A. Determination of antioxidant activity of white tea. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 1. pp. 133–139. (in Russian).

9 Rietveld A., Wiseman S. Antioxidant effects of tea: evidence from human clinical trials. The Journal of nutrition. 2003. vol. 133. no. 10. pp. 3285S–3292S.

10 Zheng H., Sun X., Guo N., Li R. Evaluation of antibacterial and antioxidant activity of extracts of eelgrass Zostera marina Linnaeus. African Jornal of Microbiology Research. 2014. vol. 8. no. 23. pp. 2315–2321.

11 Aronbaev D.M., Ten V.A., Yulayev M.F., Aronbaev S.D. Investigation of the antioxidant activity of the vegetation of the Fergana valley. *Molodoj uchenyj* [Young scientist]. 2015. no. 4. pp. 30–34. (in Russian).

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Olga I. Dolmatova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, animal origin products technology department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, olgadolmatova@rambler.ru

Ksenia A. Rudometkina student, animal origin products technology department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, meatech@yandex.ru

CONTRIBUTION

Olga I. Dolmatova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Ksenia A. Rudometkina review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.17.2018

ACCEPTED 11.29.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 339.137

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-229-233

Перспективы создания безалкогольных напитков на легкой воде

Алексей В. Христюк [1] hristuk_a@mail.ru
Геннадий И. Касьянов [2] g_kasjanov@mail.ru

[1] Филиал № 1 АО МПБК «Очаково», г. Краснодар

[2] Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия

Аннотация. В статье анализируются перспективы создания безалкогольных тонизирующих напитков на легкой воде. Целью работы является исследование свойств воды с пониженным содержанием дейтерия для производства напитков. Разработана структурная схема производства безалкогольных напитков с использованием в качестве базового компонента легкой воды, концентрата арбузного сока в качестве подсластителя, применением природного натурального консерванта юглона, из околоплодника грецкого ореха. Сформулированы теоретические предпосылки масштабного перехода к изготовлению тонизирующих напитков на основе экстрактов из отечественных трав и легкой воды. Впервые разработан рецептурный состав напитков с адаптогенными свойствами, отличающихся антиоксидантными свойствами. Систематизирован ассортимент адаптогенных напитков, в состав которых входит легкая вода и нетрадиционное пряно-ароматическое сырье, что явились обоснованием предложения по использованию антиоксидантов в качестве идентификаторов подлинности новой группы напитков. Впервые предложен вариант графической визуализации целевой системы формирования вкусовых пряно-ароматических характеристик ряда рецептур напитков, предложен алгоритм моделирования рецептурного состава напитков на легкой воде с пикантным пряным вкусом. Выполненные исследования обладают практической значимостью и апробированы в производственных условиях Филиала № 1 Московского пиво-безалкогольного комбината «Очаково». Сконструированы оригинальные рецептуры тонизирующих напитков с адаптогенными свойствами, определены допустимые сроки их хранения. Разработана необходимая документация на производство напитков на основе легкой воды и пряно-ароматического сырья. Разработаны проекты технических условий на напитки: «Напиток для регбистов», «Напиток футболистам», «Напиток Шахматный». Сделан вывод о целесообразности опытно-промышленной апробации разработанной технологии производства напитков.

Ключевые слова: безалкогольные напитки, легкая вода, тяжелая вода

Prospects of creation of alcohol-free drinks on light water

Alexey V. Khristyuk [1] hristuk_a@mail.ru
Gennadiy I. Kasyanov [2] g_kasjanov@mail.ru

[1] Branch № 1 of Ochakovo Brewery, Krasnodar

[2] Kuban State Technological University, st. Moskovskaya, 2, Krasnodar, 350072, Russia

Abstract. The article analyzes the prospects of creating non-alcoholic tonic drinks on light water. The aim of the work is to study the properties of water with a low content of deuterium for the production of beverages. A block diagram of the production of soft drinks using as a basic component of light water, watermelon juice concentrate as a sweetener, the use of natural preservative juglona, from the pericarp walnut. The theoretical prerequisites for a large-scale transition to the production of tonic drinks based on extracts from domestic herbs and light water are formulated. For the first time the formula composition of drinks with adaptogenic properties differing in antioxidant properties is developed. The range of adaptogenic drinks, which include light water and non-traditional spicy and aromatic raw materials, was systematized, which was the justification for the proposal to use antioxidants as identifiers of the authenticity of a new group of drinks. First proposed version of the graphical visualization of the target system for the formation of flavouring spicy-aromatic characteristics of several formulations of drinks, the algorithm of modeling of the prescription of drinks with light water with a savory and spicy taste. The performed studies have practical significance and have been tested in the production conditions of the Branch № 1 of the Moscow beer and non-alcoholic plant "Ochakovo". The original formulations of tonic drinks with adaptogenic properties are designed, the permissible terms of their storage are determined. The necessary documentation for the production of beverages based on light water and aromatic raw materials has been developed. Developed draft technical specifications for the drinks: "Drink for Rugby players", "players Drink", "Drink Chess". The conclusion is made about the expediency of pilot testing of the developed technology of beverage production.

Keywords: non-alcoholic beverages, light water, heavy water, beverage production scheme

Введение

Безалкогольные напитки занимают солидную нишу на рынке продуктов. Сама идея создания производства экономически выгодных напитков проста, нужно профильтровать и обеззаразить водопроводную воду, добавить 3–5% сока, некоторые улучшители вкуса и насытить углекислым газом. До настоящего времени не установлены рациональные нормы потребления напитков населением России. По данным специалистов Всероссийского НИИ пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности, филиала ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова, потребление безалкогольных напитков должно находиться на уровне 30 л в год [6]. В других странах эти цифры выше: в Германии – 83 л, в Венгрии – 158 л, в Польше – 122 л, в Словакии – 180 л, в США – 164 л, в Чехии – 240 л в год.

Для цитирования

Христюк А.В., Касьянов Г.И., Перспективы создания безалкогольных напитков на легкой воде // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 229–233. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-229-233

For citation

Khristyuk A.V., Kasyanov G.I., Prospects of creation of alcohol-free drinks on light water. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 229–233. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-229-233

После перехода России к рыночным отношениям изменились приоритеты развития технологии безалкогольных напитков, исчез классический ассортимент напитков на натуральной основе, появились искусственные подсластители, ароматизаторы, «идентичные» натуральным, и другие новшества. Произошел передел собственности. Большинство предприятий стали частными, с преимуществом иностранного капитала. Пожалуй, последним бастионом отечественной продукции стали напитки Московского пивобезалкогольного комбината «Очаково» и его филиалов.

Учитывая конъюнктуру спроса на напитки, специалисты нашего предприятия стали осваивать и заполнять нишу отечественных безалкогольных продуктов на натуральных компонентах. На рисунке 1 показан фрагмент цеха безалкогольной продукции фирмы «Очаково».



Рисунок 1. Фрагмент цеха безалкогольной продукции фирмы «Очаково»

Figure 1. Fragment of the shop of non-alcoholic products of "Ochakovo" Company

Своевременная переработка плодово-ягодного сырья и винограда является важной задачей предприятия. Основными проблемами производства тонизирующих напитков являются гарантированный качественный состав и удовлетворение запросов потребителей.

Тонизирующие плодово-ягодные и виноградные напитки содержат не только ценные пищевые компоненты, но и позитивные БАВ. Особо следует отметить роль тонизирующих напитков без содержания этанола, входящих в рацион питания людей разных возрастных групп.

Российские и зарубежные ученые рассматривают возможность придания безалкогольным напиткам статуса особого вида пищевых продуктов, позволяющих скомпенсировать дефицит питания в незаменимых нутриентах. В последнее десятилетие потребители предпочитают напитки, обогащенные натуральными добавками с большим количеством углеводов, витаминов и микроэлементов. Такой выбор приобрел приоритет на рынке напитков и занял особую нишу мирового рынка. Тонизирующие напитки требуют внимательного отношения к подбору сырья и других составных компонентов. Это направление исследований широко освещено в работах ведущих ученых страны Н.М. Агеевой, И.И. Бурачевского, Л.В. Донченко, М.В. Гернет, А.А. Кочетковой, М.А. Николаевой, В.М. Позняковского, М.А. Положишниковой, А.Н. Самсоновой, В.Б. Спиричева, Г.Л. Филоновой, З.Н. Хатко и других.

Вместе с тем ряд вопросов, связанных с конструированием безопасных безалкогольных напитков тонизирующей направленности, не решен до настоящего времени [5, 7, 10, 11].

Например, не полностью решена проблема экспресс-оценки качества сырья, идентификация и фальсификация напитков, изготовленных из нестандартного сырья и синтетических добавок [2, 8].

Прорывным направлением в производстве безалкогольных напитков является использование легкой воды с пониженным содержанием дейтерия [1, 3, 4]. Большой потенциал имеет предложение включать в состав рецептур безалкогольных напитков экстракты пряно-ароматических растений и адаптогены [9].

В обзорах научно-технической литературы описаны мультисоковые напитки и концентраты соков, однако не приводятся сведения о разработке достоверных экспресс-методов оценки их качества. Наиболее полная информация о химическом составе мультинапитков из плодов и ягод имеется в публикациях специалистов Краснодарского филиала № 1 Московского пиво-безалкогольного комбината «Очаково» [10]. На рисунке 2 показан общий вид предприятий Краснодарского филиала «Очаково».



Рисунок 2. Общий вид предприятий Краснодарского филиала «Очаково

Figure 2. General view of enterprises of Krasnodar branch "Ochakovo

Коллектив Краснодарского филиала № 1 Московского пиво-безалкогольного комбината «Очаково» возрождает национальные питьевые традиции. Благодаря новейшим исследованиям

в Краснодарском крае разработаны профилактические напитки с использованием адаптогенов и легкой воды с пониженным содержанием дейтерия. Разработка технологии получения и появление на рынке так называемой «легкой воды» позволили создать целую линейку продуктов с лечебно-профилактическими и иммунопротекторными свойствами.

Таким образом, появилась возможность прогнозировать качественный состав и безопасность новых напитков профилактического действия.

Цель исследования – оценка перспектив вывода на рынок тонизирующих напитков с использованием легкой воды и пряно-ароматического сырья, выращенного в предгорных районах Краснодарского края и Крыма.

Достижение цели стало возможным благодаря изучению сложившегося рынка напитков на основе отечественного сырья с выделением группы многокомпонентных напитков, а также изучению потребительских предпочтений населения Краснодарского края в потреблении тонизирующих напитков на основе растительного сырья.

Материалы и методы

В работе использованы традиционные методы анализа состава сырья, пищевых добавок и воды. Авторы исследовали качественный состав многокомпонентных напитков на основе растительного сырья, выращиваемого в Краснодарском крае и Крыму и изотопный состав воды из глубинных артезианских скважин Филиала № 1 МПБК «Очаково».

Качественный состав сырья и напитков определяли в лабораториях кафедры «Технология виноделия и бродильных производств им. проф. А.А. Мержаниана» КубГТУ, общей, неорганической химии и информационно вычислительных технологий КубГУ и Центра коллективного пользования Института пищевой и перерабатывающей промышленности КубГТУ.

Разработаны технологические принципы создания напитков на основе легкой воды и пряно-ароматического сырья, впервые определены тонизирующие свойства напитков. Разработаны теоретические основы видовой принадлежности сырья, новых технологических приемов получения напитков, способа получения воды с пониженным содержанием дейтерия, методы идентификации подлинности, а также степени фальсификации продукции.

Результаты и обсуждение

Основное внимание при выполнении исследований было уделено способу подготовки воды для производства напитков, которая составляет до 80% от общей массы безалкогольной продукции. Благодаря работам биофизиков и биохимиков О.В. Мосина, Г.Д. Бердышева, М.Г. Барышева, И. Н. Варнавского установлено, что вода с пониженным содержанием тяжелого водорода обладает полифизиологическим воздействием на организм человека. Изотопный состав воды приведен на рисунке 3.

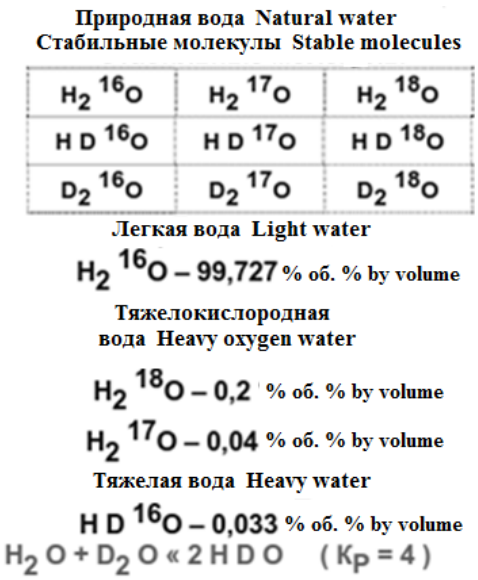


Рисунок 3. Изотопный состав воды

Figure 3. Isotope composition of water

Установлено, что молекулы D_2O и H_2O аналогичны по строению, но имеют небольшое различие в углах и длинах ковалентных связей. Однако химические и физические свойства легкой и тяжелой воды существенно отличаются. Так, например, температура кипения тяжелой воды 101,44 °С, а замерзания – при + 3,82 °С, при плотности 1,1053 г/см^3.

На рисунке 4 приведена разработанная с участием авторов схема получения легкой воды для тонизирующих безалкогольных напитков

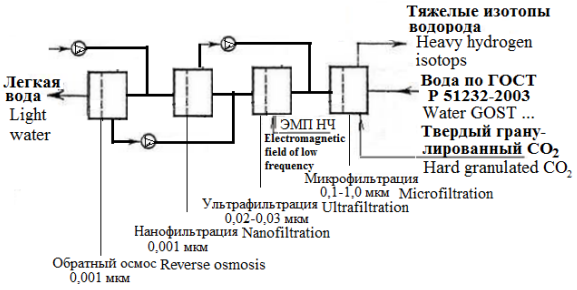


Рисунок 4. Схема получения легкой воды для тонизирующих безалкогольных напитков

Figure 4. Scheme of getting light water for Obtaining Tonic soft drinks

На рисунке 5 приведена структурная схема производства безалкогольных напитков на легкой воде.

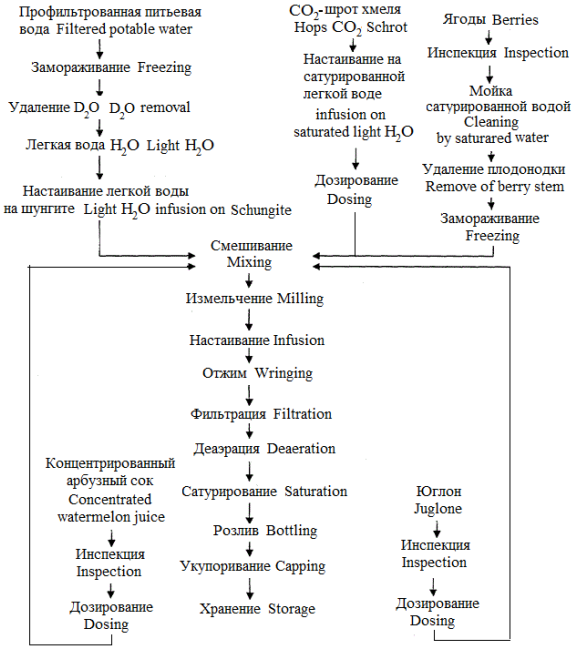


Рисунок 5. Структурная схема производства безалкогольных напитков

Figure 5. Structural scheme of production of soft drinks

Приведенная на рисунке 5 схема отличается от традиционных использованием в качестве базового компонента легкой воды, концентрата арбузного сока в качестве подсластителя, применением природного натурального консерванта юглона из околоплодника грецкого ореха.

Выполнен комплекс исследований по изготовлению рецептур безалкогольных бальзамов «Доктор Пехов», «Профессор Середин», «Антистрессовый», «Вита-облепиха», «Надежда», «Золото Кубани» и «Скифский амулет».

Для производства тонизирующих безалкогольных напитков изготовлены концентраты, обладающие антиоксидантными свойствами: «Напиток для регбистов», «Напиток футболистам», «Напиток Шахматный», «Должанская коса», «Адыгейские травы», «Вечерний Геленджик» и «Мохито с хмелем».

В таблице 1 приведено содержание веществ фенольной природы в образцах продуктов.

Таблица 1.

Содержание веществ фенольной природы в образцах продуктов

Table 1.

Content of phenolic substances in product samples

Безалкогольные бальзамы Non-alcoholic balsams	М.д. суммы флавоноидов, % Flavanoids sum by mass, %	М.д. суммы дубильных веществ, % Tannins sum by mass, %	Концентраты безалкогольных напитков Soft drinks concentrates	М.д. суммы флавоноидов, % Flavanoids sum by mass, %	М.д. суммы дубильных веществ, % Tannins sum by mass, %
«Доктор Пехов» «Dr.Pekhov»	1,15 ± 0,01	0,79 ± 0,05	«Напиток для регбистов» «Beverage for rugby players»	0,31 ± 0,01	8,78 ± 0,02
«Профессор Середин» «Professor Seredin»	1,25 ± 0,01	0,97 ± 0,05	«Напиток футболистам» «Beverage for football players»	0,29 ± 0,01	7,11 ± 0,02
«Антистрес-совый» «Antistress»	0,29 ± 0,02	0,28 ± 0,02	«Напиток Шахматный» «Chess Beverage»	0,33 ± 0,01	6,32 ± 0,02
«Вита-облепиха» «Vita-Sea-buckthorn»	1,10 ± 0,01	0,79 ± 0,05	«Должанская коса» «Dolzhanskaya spit»	0,32 ± 0,01	7,04 ± 0,02
«Надежда» «Hope»	0,86 ± 0,01	0,80 ± 0,05	«Адыгейские травы» «Adygeya herbs»	0,60 ± 0,01	4,16 ± 0,02
«Золото Кубани» «Gold of Kuban»	0,90 ± 0,01	0,76 ± 0,05	«Вечерний Геленджик» «Night Gelendzhik»	1,12 ± 0,01	4,78 ± 0,02
«Скифский амулет» «Skiff amulet»	0,95 ± 0,01	0,78 ± 0,05	«Мохито с хмелем» «Hopped mochito»	0,73 ± 0,01	4,99 ± 0,02
(n = 3, M ± m); м.д. – массовая доля; by mass					

Как видно из данных таблицы, разработанные рецептуры содержат значительное количество флавоноидов и дубильных веществ, положительно влияющих на вкусовые и антиоксидантные свойства напитков.

Заключение

Впервые разработан рецептурный состав напитков с адаптогенными свойствами, отличающихся антиоксидантными свойствами. Систематизирован ассортимент адаптогенных напитков, в состав которых входит легкая вода и нетрадиционное пряно-ароматическое сырье, что явилось обоснованием для использования антиоксидантов в качестве идентификаторов подлинности новой группы напитков.

Впервые предложен вариант графической визуализации целевой направленности пряно-ароматического сырья для разработанной рецептуры, предложен алгоритм моделирования состава напитков на основе пряно-ароматического сырья с целью прогнозирования их функциональных свойств.

Выполненные исследования обладают практической значимостью и апробированы

в производственных условиях Филиала № 1 Московского пивобезалкогольного комбината «Очаково». Разработаны оригинальные рецептуры напитков на основе пряно-ароматического сырья, определены допустимые сроки хранения. Подготовлена необходимая документация на производство напитков на основе легкой воды и пряно-ароматического сырья, а также проекты технических условий на напитки: «Напиток для регбистов», «Напиток футболистам», «Напиток Шахматный».

ЛИТЕРАТУРА

1 Гладкова М.Г., Касьянов Г.И., Шипулин В.И., Христюк А.В. Феномен легкой воды в продуктах геродиетического питания // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2017. № 4 (61). С. 12–19.

2 Stounbjerg L., Vestergaard C., Andreasen B., Ipsen R. Beverage clouding agents: Review of principles and current manufacturing // Food Reviews International. 2018. V. 34. № 7. P. 613-638.

3 Li A., Li Y., Gua H. The origin of rotational enhancement effect for reaction of $H_2O + H_2(D_2)$ // The Journal of Chemical Physics. 2014. V. 140. № 1. P. 11102. doi: 10.1063/1.4861002

4 Huang F., Meng C. Method for the Production of Deuterium-Depleted Potable Water // Industrial and Engineering Chemistry Research. 2011. V. 50. № 1. P. 378–381. doi: 10.1021/ie101820f

5 Kilcast D., Subramaniam P. Food and beverage stabilitu and shelf lift. Oxford, Cambridge, Philadelphia, New Delhi: Woodhead Publishing Limited, 2011. 817 p.

6 Оганесянц Л.А., Панасюк А.Л., Гернет М.В. и др. Технология безалкогольных напитков. СПб.: ГИОРД, 2012. 344 с.

7 Радионова И.Е. Технология производства безалкогольных напитков и кваса СПб.: Университет ИТМО, 2015. 105 с.

8 Родионова Л.Я., Ольховатов Е.А., Степовой А.В. Технология безалкогольных напитков. СПб: Издательство Лань, 2017. 324 с.

9 Филонова Г.Л., Ковалева И.Л., Комракова Н.А., Никифорова Е.В. Пряно-ароматическое сырье для создания позитивной безалкогольной продукции //Пиво и напитки. 2015. № 5. С. 58–61.

10 Girones-Vilaplana A., Villano D., Moreno D.A., García-Viguera C. New isotonic drinks with antioxidant and biological capacities from berries (maqui, açaí and blackthorn) and lemon juice // International journal of food sciences and nutrition. 2013. V. 64. № 7. P. 897-906.

11 Calderone G., Guillou C. Analysis of isotopic ratios for the detection of illegal watering of beverages // Food Chemistry. 2008. V. 106. № 4. P. 1399-1405.

REFERENCES

1 Gladkova M.G., Kasianov G.I., Shipulin V.I., Khristyuk A.V. The phenomenon of light water in products of gerodietic nutrition. *Vestnik Severo-Kavkazskogo federalnogo universiteta* [Bulletin of the North Caucasus Federal University]. 2017. no. 4 (61). pp. 12-19. (in Russian)

2 Stounbjerg L., Vestergaard C., Andreasen B., Ipsen R. Beverage clouding agents: Review of principles and current manufacturing. Food Reviews International. 2018. vol. 34. no. 7. pp. 613-638.

3 Li A., Li Y., Gua H. The origin of rotational enhancement effect for reaction of H2O + H2(D2). The Journal of Chemical Physics. 2014. vol. 140. no. 1. pp. 11102. doi: 10.1063/1.4861002

4 Huang F., Meng C. Method for the Production of Deuterium-Depleted Potable Water. Industrial and Engineering Chemistry Research. 2011. vol. 50. no. 1. pp. 378–381. doi: 10.1021/ie101820f

5 Kilcast D., Subramaniam P. Food and beverage stabilitu and shelf lift. Oxford, Cambridge, Philadelphia, New Delhi, Woodhead Publishing Limited, 2011. 817 p.

6 Oganesyants L.A., Panasyuk A.L., Gernet M.V. et al. Tekhnologiya bezalko-golnykh napitkov [Soft drink technology]. Saint Petersburg, GIORD, 2012. 344 p. (in Russian)

7 Radionova I.E. Tekhnologiya proizvodstva bezalkogolnykh napitkov i kvasa [Technology of production of soft drinks and kvass]. Saint Petersburg, ITMO University. 2015. 105 p. (in Russian)

8 Rodionova L.Ya., Olkhovatov E.A., Stepovoy A.V. Tekhnologiya bezalkogolnykh napitkov. Saint Petersburg, Publisher Lan. 2017. 324 p. (in Russian)

9 Filonova G.L., Kovaleva I.L., Komrakova N.A., Nikiforova E.V. Spicy aromatic raw materials for the creation of positive non-alcoholic products. *Pivo i napitki* [Beer and drinks]. 2015. no. 5. pp. 58–61. (in Russian)

10 Girones-Vilaplana A., Villano D., Moreno D.A., García-Viguera C. New isotonic drinks with antioxidant and biological capacities from berries (maqui, açaí and blackthorn) and lemon juice. International journal of food sciences and nutrition. 2013. vol. 64. no. 7. pp. 897-906.

11 Calderone G., Guillou C. Analysis of isotopic ratios for the detection of illegal watering of beverages. Food Chemistry. 2008. vol. 106. no. 4. pp. 1399-1405.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алексей В. Христюк к.т.н., зам. директора по производству, главный пивовар, Филиал № 1 АО МПБК «Очаково», г. Краснодар, Россия, hristuk_a@mail.ru

Геннадий И. Касьянов профессор , кафедра технологии продуктов питания животного происхождения, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия, g_kasjanov@mail.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Alexey V. Khristyuk Cand. Sci. (Engin.), Deputy production director, chief brewer, Branch № 1 of Ochakovo Brewery, Krasnodar, Russia, hristuk_a@mail.ru

Gennadiy I. Kasyanov Dr. Sci. (Engin.), Professor, department of technology of food products of animal origin, Kuban State Technological University, Moskovskaya str., 2, Krasnodar, 350072, Russia, g_kasjanov@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Алексей В. Христюк написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Геннадий И. Касьянов сформулировал основную идею работы, участвовал в проведении экспериментальных исследований

CONTRIBUTION

Alexey V. Khristyuk wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Gennadiy I. Kasyanov formulated the main idea of the work, participated in the experimental studies

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

ПОСТУПИЛА 01.10.2018
ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 16.11.2018

RECEIVED 10.1.2018
ACCEPTED 11.16.2018

Обзорная статья/Review article

УДК 635.41, 664.644

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-234-239

Перспективы использования шпината в производстве мучных и хлебобулочных изделий

Александр Н. Сапожников [1] a.sapozhnikov@corp.nstu.ru
Анастасия В. Копылова [1] kopylova@corp.nstu.ru
Юлия О. Крайнова [1] xomka_97@mail.ru
Станислав А. Крайнов [1] stas_krainov@mail.ru

[1] Новосибирский государственный технический университет, пр-т Карла Маркса, 20, г. Новосибирск, 630073, Россия

Аннотация. Шпинат (*Spinacia oleracca*) относится к листовым овощам. Он обладает низкой калорийностью и является источником биофлавоноидов, витаминов, минеральных веществ и антиоксидантов, достаточно стойких при тепловой обработке. Среди них можно выделить бета-каротин, зеаксантин, лютеин, которые являются активными антиоксидантами. Также в шпинате содержатся витамины группы В, Е, К, кальций, железо. Шпинат широко распространен во многих странах мира, однако в России его употребляют в пищу значительно меньше. Полезные свойства шпината позволяют использовать его в качестве ингредиента для производства новых видов мучных и хлебобулочных изделий функционального и специализированного назначения. Ввиду специфических органолептических и технологических свойств шпината его рекомендуется использовать в переработанном виде в сочетании с другими растительными ингредиентами. Высокое содержание в шпинате жирорастворимых веществ обуславливает введение в рецептуры мучных и хлебобулочных изделий с целью увеличения их усвояемости жирового компонента в виде смеси растительных масел твердой и жидкой консистенции. Для улучшения технологических свойств шпината рекомендуется его сушка с последующим измельчением в порошок. Существуют несколько способов сушки и получения порошка шпината, различающихся между собой количеством стадий и технологических операций, машинно-аппаратурным оформлением и энергоемкостью, что определяет выбор оптимального способа переработки шпината в порошок. Введение порошка шпината в сочетании с другими ингредиентами в рецептуры и технологии мучных и хлебобулочных изделий позволяют получить продукцию с высокими органолептическими свойствами, а содержание в ней вышеназванных пищевых веществ позволяет отнести данные изделия к функциональным.

Ключевые слова: шпинат, порошки, сушка, мучные изделия, хлебобулочные изделия, функциональное питание

The prospects of using spinach in flour and bakery products

Aleksandr N. Sapozhnikov [1] a.sapozhnikov@corp.nstu.ru
Anastasiya V. Kopylova [1] kopylova@corp.nstu.ru
Yuliya O. Krainova [1] xomka_97@mail.ru
Stanislav A. Krainov [1] stas_krainov@mail.ru

[1] Novosibirsk State Technical University, Karl Marx Av., 20 Novosibirsk, 630073, Russia

Abstract. Spinach (*Spinacia oleracca*) is a leaf vegetable with low calorie. It appears to be the source of bioflavonoids, vitamins, minerals and antioxidants, which are highly resistant to heat treatment. Among these substances there are beta-carotene, zeaxanthin, lutein, which appear to be active antioxidants. Spinach also contains B vitamins, vitamin E, vitamin K, calcium and iron. It is common in many countries but is not widely used in Russia. The beneficial features of spinach allow to use it as the ingredient for developing of new types of flour and bakery products for functional and specialized purposes. Due to specific organoleptic and technological properties, it is recommended to use refined spinach in combination with other plant ingredients. The high content of fat-soluble substances in spinach causes using in formulations and technologies of flour and bakery products fat components for purposes of digestion of these substances. These components can be the mixture of vegetable oils of different consistency. For improving of spinach technological properties, it is recommended to use drying with following grinding of dried product into powder. There are several drying and grinding methods, which differ in number of stages and.technological operations, machine and hardware design and energy intensity, which defines the choice of optimal method of spinach powder obtaining. The use of spinach powder in formulations and technologies of flour and bakery products allows obtaining products with high organoleptical qualities, and the containment of the aforenamed substances in products allows to consider them as functional.

Keywords: spinach, powders, drying, flour products, bakery products, functional nutrition

Введение

Хлебобулочные изделия входят в повседневный рацион питания населения России. Их производство в стране организовано практически повсеместно и может осуществляться на предприятиях, различающихся по мощности и отраслевой принадлежности.

Важным направлением в развитии российского хлебопечения является расширение ассортимента продукции путем разработки и внедрения в производство функциональных и специализированных сортов изделий, обогащенных витаминами, минералами и пищевыми волокнами. Данное направление отвечает задачам

Для цитирования

Сапожников А.Н., Копылова А.В., Крайнова Ю.О., Крайнов С.А. Перспективы использования шпината в производстве мучных и хлебобулочных изделий // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 234–239. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-234-239

For citation

Sapozhnikov A.N., Kopylova A.V., Krainova Yu. O., Krainov S.A. The prospects of using spinach in flour and bakery products. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 234–239. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-234-239

«Концепции обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения путем развития функционального и специализированного хлебопечения в Российской Федерации до 2020 года» («Хлеб – это здоровье») [1].

В соответствии с данным направлением на настоящий момент в России и за рубежом проведено большое количество исследований и практических внедрений в производство, связанных с разработкой рецептур и технологий хлебобулочных изделий с использованием добавок из местного растительного сырья.

Вместе с тем некоторые виды растительного сырья, которые могут быть применены в хлебопечении и оказывать положительное влияние на технологический процесс производства, органолептические свойства готовой продукции и при этом являться функциональными компонентами, на настоящий момент недостаточно изучены с данной точки зрения. К такому сырью можно отнести шпинат огородный (*Spinacia oleracca*). Известно, что шпинат, как в свежем, так и в переработанном виде, является источником биофлавоноидов, витаминов, минеральных веществ и антиоксидантов. Таким образом, его полезные свойства могут использоваться в диетическом питании, а также профилактике и лечении широкого круга заболеваний [2–5].

Шпинат можно рассматривать как перспективное сырье для производства мучных и хлебобулочных изделий функционального и специализированного назначения.

Основные сведения о шпинате и его пищевой и физиологической ценности

Шпинат представляет собой однолетнее растение семейства Амарантовых (*Amaranthaceae*). Как правило, в пищу употребляется листовая часть растения, таким образом, его относят к листовым овощам [2, 3].

Родиной растения считается Центральная и Юго-Восточная Азия. В дальнейшем шпинат получил широкое распространение в Европе, Америке, Африке и Австралии [3]. В частности, в деревне Монтаью, расположенной в регионе Окситания на юго-западе Франции, были обнаружены обугленные фрагменты шпината, относящиеся к концу XII в. – середине XIII в. и свидетельствующие о том, что с данного времени началось его распространение по Европе [6].

Известно, что шпинат обладает полезными свойствами и используется в комплексном лечении и профилактике широкого круга болезней, таких, как анемия, диабет, гельминтозы, ожирение, различные воспаления, а также нервные и прочие заболевания [2, 3].

По пищевой ценности в 100 г листовой (съедобной) части шпината содержится 2,9 г белков, 0,3 г жиров и 2,0 г углеводов. Общая калорийность шпината составляет 23 ккал, что позволяет отнести шпинат к низкокалорийным пищевым продуктам [2]. Кроме того, в 100 г шпината содержится ряд витаминов, макро- и микроэлементов, которые превышают 15% от суточной нормы для взрослого человека согласно действующим методическим рекомендациям МР 2.3.1.2432-08 [7], что позволяет его отнести к функциональным продуктам питания. Так, содержание бета-каротина в 100 г составляет 4,5 г (90% от суточной нормы), витамина B9 (фолаты) – 80 мкг (20% от суточной нормы), магния – 82 г (20,5% от суточной нормы), калия – 774 г (31% от суточной нормы), марганца – 0,897 мг (44,9% от суточной нормы). В 100 г шпината есть ряд веществ, превышающих рекомендуемую суточную норму. К ним относятся: витамин Е (ТЭ) – 55 мг (в 2,2 раза), витамин К – 482,9 мкг (в 4 раза), кальций – 106 мг (в 1,06 раза), железо – 13,51 г (в 1,35 раза) [2]. Известно, что большинство из данных веществ не разрушается при тепловой обработке и может быть введено в мучные и хлебобулочные изделия вместе со шпинатом без потерь. Однако 100 г шпината обладает достаточно большим объемом, что делает целесообразным введение шпината в концентрированном виде.

Помимо бета-каротина, к содержащимся в шпинате каротиноидам относятся лютеин и зеаксантин. Их содержание в среднем составляет 11,6 и 3,3 мкг на 100 г продукта. Следует отметить, что данные вещества являются активными антиоксидантами, которые позволяют считать шпинат функциональным ингредиентом [2, 8].

Лютеин, зеаксантин и витамины Е и К являются жирорастворимыми веществами, что делает целесообразным внесение в рецептуру изделий жирового компонента для повышения их усвояемости. При этом жидкие растительные масла в чистом виде использовать не рекомендуется, они легко отделяются в готовых выпеченных изделиях. Совместные исследования ученых США и КНР показали, что для лучшей усвояемости бета-каротина и лютеина шпинат рекомендуется употреблять со смесью кокосового (твердого) и кукурузного (жидкого) масла или их аналогов в соотношении 1:1. При этом кокосовое масло выступает как источник триацилглицеридов со средней длиной цепочек, а кукурузное масло – как источник мононенасыщенных жирных кислот. Данная смесь повысила биодоступность лютеина от 21 до 42%, а бета-каротина –

от 6,8 до 25% [9]. Таким образом, введение в рецептуру хлебобулочных изделий смеси масел в данном соотношении и с аналогичными химическими свойствами является целесообразным.

Также следует отметить, что шпинат обладает специфическим привкусом и запахом, а его введение в рецептуры в натуральном виде придает готовым изделиям влажную и волокнистую консистенцию, снижая их органолептические показатели. Поэтому целесообразно вводить его в мучные и хлебобулочные изделия в измельченном виде (порошок) при снижении содержания в нем влаги с помощью сушки, а также использовать сочетание шпината с другим растительным сырьем с целью улучшения органолептических показателей изделий и их обогащения полезными веществами, которые в шпинате либо не содержатся, либо содержатся в малых количествах.

Технологические свойства шпината как ингредиента в производстве мучных и хлебобулочных изделий

Полезные свойства шпината определяют целесообразность его использования как ценного сырья в пищевой промышленности и индустрии питания. По сравнению с другими листовыми овощами (салат, щавель и др.) шпинат в натуральном и переработанном виде в России используется ограниченно. Основной причиной является его нетрадиционность в плане вкусовых предпочтений российских потребителей, в то время как в Европе и США он входит в перечень жизненно необходимых продуктов и имеет неофициальный титул «короля овощей» [2].

В России и за рубежом имеется ряд исследований по переработке шпината и его использованию в рецептурах и технологиях мучных, хлебобулочных изделий и других видов пищевой продукции.

Как уже было сказано выше, при разработке новых видов мучных и хлебобулочных изделий шпинат можно использовать в сочетании с другими продуктами с целью повышения органолептических показателей и увеличения пищевой ценности. Совместные исследования авторов из Северо-Кавказского федерального университета и Кубанского государственного аграрного университета показали, что шпинат можно использовать в рецептурах напитков на основе капустного сока в сочетании со свекловичным и яблочным пектиновым концентратом, применяя в качестве дополнительного сырья морковное пюре, огуречный сок, свежие яблоки, сельдерей, апельсиновый и грейпфрутовый сок [10].

Сушка шпината и получение из него порошков могут быть осуществлены различными способами. Так, сотрудники университета им. Инёню (г. Малатья, Турция) исследовали сушку листьев шпината инфракрасными лучами. В результате исследований было установлено, что скорость сушки прямо зависит от увеличения мощности излучателей (в эксперименте их величины составили от 300 до 500 Вт) и обратно – от количества листьев шпината, подвергаемых сушке (от 15 до 60 г). В зависимости от варьирования данных показателей время сушки длилось от 3,5 до 16,5 мин, что в целом меньше, чем при использовании конвекционной сушки. Вместе с тем при увеличении мощности и количества шпината содержание витамина С в сушеных листьях уменьшалось примерно в 2 раза [11].

Исследователями из Кубанского государственного аграрного университета разработана технология производства порошкообразной добавки функционального назначения из шпината сорта Виктория. Данная технология отличается тем, что вначале из разваренного шпината получают пюре, которое затем подвергается сушке на вальцовой сушилке с последующим измельчением на шаровых мельницах. Согласно результатам полученный порошок в наибольшей степени сохраняет свойства исходного сырья [12]. Однако машинно-аппаратурное оформление данного процесса предполагает использование высокопроизводительного энергоемкого оборудования, большое количество технологических операций и не может быть реализовано, например, в условиях малого производства. Кроме того, применение традиционных методов тепловой обработки и сушки в значительной степени снижает содержание полезных веществ в готовом продукте.

Исследователи из Эгейского университета (г. Борнова, Турция) использовали распылительную сушку с применением различных сушильных агентов при получении сушеного сока из шпината. Входная температура варьировалась в пределах 160–200 °С, выходная – в пределах 80–100 °С. В течение установленного срока хранения (5 месяцев) порошок сохранял свои технологические свойства [13]. Данный способ отличается высокой энергоемкостью и аппаратурно-технологическим оформлением. Кроме того, в полученном продукте отсутствуют полезные вещества, содержащиеся в твердой части листьев шпината.

Исследования ученых Абердинского университета (Великобритания) показывают целесообразность использования порошка шпината в сушеном виде. Авторы использовали метод лиофилизированной (сублимационной)

сушки. Общее содержание флавоноидов, фенольных кислот и их производных составило до 930 мг на 1 кг готового продукта [4].

Обогащение (фортификация) мучных и хлебобулочных изделий шпинатом отмечено в ряде зарубежных публикаций. Так, исследователями из Испании изучалось введение шпината в рецептуру хлеба из пшеничной муки и пшеничной цельнозерновой муки и его влияние на содержание фолатов. Авторы указывают, что фортификация рецептур изделий шпинатом в количестве 20 и 40 г на 100 г готового изделия увеличивала содержание фолатов с 19,9 до 57,9 мкг в 100 г хлеба из пшеничной муки и с 37,4 до 75,5 мкг в 100 г хлеба из пшеничной цельнозерновой муки. Использование 40 г шпината на 100 г готовых изделий положительно сказалось на их органолептической оценке, а сами изделия могут быть отнесены к функциональным [14].

Сотрудниками Лаборатории исследований продовольственной безопасности (Индия) было исследовано влияние сушеного порошка шпината на физико-химические, реологические и органолептические характеристики индийского национального хлебобулочного изделия – чапати. Было отмечено, что оптимальной является доля порошка в количестве 5% по отношению к количеству пшеничной муки, предусмотренному рецептурой [15].

Сотрудники Центрального пищевого технологического исследовательского института Совета научных и индустриальных исследований (г. Майсур, Индия) использовали порошок из шпината, полученный конвективной сушкой с последующим измельчением, при производстве образцов печенья по традиционным рецептурам. Оптимальной долей порошка шпината является 5% по отношению к массе рецептурных компонентов. Авторами отмечается, что порошок шпината содержит 28,7% белка, 8,8% пищевых волокон, содержание кальция, железа и фосфора на 100 г порошка составило соответственно 1336, 30 и 336 мг, а сам порошок сохраняет антиоксидантную активность [16].

Заключение

Проведенный обзор показал, что шпинат обладает низкой калорийностью, высоким содержанием отдельных витаминов, макро- и микроэлементов и антиоксидантов, которые сохраняются при тепловой обработке, и может быть отнесен к перспективным ингредиентам, придающим функциональные свойства разрабатываемым мучным и хлебобулочным изделиям.

Важным вопросом при подготовке шпината к производству изделий является оптимальный способ его переработки и измельчения, при котором будет обеспечиваться максимальное сохранение полезных пищевых веществ, а также его сочетание с другими растительными добавками и использование в рецептурах изделий жирового компонента, который позволит повысить усвояемость содержащихся в шпинате жирорастворимых веществ, тем самым усиливая функциональные свойства вводимой добавки из шпината.

ЛИТЕРАТУРА

1 Богомолова И.П., Белимова Е.А. Направления и механизмы государственного регулирования производства функциональных хлебопродуктов // Вестник ВГУИТ. 2014. № 2. С. 177–183. doi: 10.20914/2310–1202–2014–2–177–183

2 Калашнова Т.В., Беляева И.А. Ботаническое описание, морфологическая структурная оценка шпината огородного // Современная наука и инновации. 2014. № 4(8). С. 33–37. URL: http://pf.ncfu.ru/data/files/docs/science/mag/Журнал%20Современная%20наука%20и%20инновации%204%20(8).pdf

3 Jiraungkoorskul W. Review of neuro-nutrition used as anti-alzheimer plant, spinach, *Spinacia oleracea* // Pharmacognosy Review. 2016. V. 10. № 20. P. 105–108. doi: 10.4103/0973–7847.194040

4 Neascu M., Vaughan N., Raikos V., Multari S. et. al. Phytochemical profile of commercially available food plant powders: their potential role in healthier food reformulations // Food Chemistry. 2015. V. 179. P. 159–169. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.01.128

5 Jaime L., Vazquez E., Fornari T., Carmen López-Hazas M. et. al. Extraction of functional ingredients from spinach (*Spinacia oleracea* L.) using liquid solvent and supercritical CO_2 extraction // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2015. V. 95. № 4. P. 722–729. doi: 10.1002/jsfa.6788

6 Hallavant C., Ruas M.-P. The first archaeobotanical evidence of *Spinacia oleracea L.* (spinach) in late 12th–mid 13th century a.d. France // Vegetation History and Archaeobotany. 2014. V. 23. № 2. P. 163–165. doi: 10.1007/s00334–013–0400–8

7 Методические рекомендации МР 2.3.1.2432–08. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 36 с. URL: http://rospotrebnadzor.ru/documents/ details.php? ELEMENT_ID=4583

8 Миронова К.И., Землякова Е.С. Изучение химического состава растительных экстрактов, положительно влияющих на зрительную функцию // Вестник молодежной науки. 2015. № 1(1). С. 7. URL: http://vestnikmolnauki.ru/wp-content/uploads/2016/08/mironova-1.pdf

9 Xi Y., Xiaojuan L., McClements D.J., Yong C., Hang X. Enhancement of phytochemical bioaccessibility from plant-based foods using excipient emulsions: impact of lipid type on carotenoid solubilization from spinach // Food & Function. 2018. № 9(8). P. 4352–4365. doi: 10.1039/C8FO01118D

10 Лимарева Н.С., Донченко Л.В. Функциональные пектиносодержащие напитки на основе шпината // Современная наука и инновации. 2016. № 4. С. 99–104. URL: http://pf.ncfu.ru/data/ files/docs/science/mag/ Журнал% 204_2016.pdf

11 Sarimiseli A., Yuceer M. Investigation of infrared drying behavior of spinach leaves using ANN methodology and dried product quality // Chemical and Process Engineering. 2015. № 36(4). P. 425–436. doi: 10.1515/cpe-2015–0030

12 Родионова Л.Я., Сокол Н.В., Шубина Л.Н., Ольхватов Е.А. Технология и применение порошко-образных пищевых добавок из растительного сырья // Научный журнал КубГАУ. 2017. № 131(07). С. 1389–1404. URL: http://ej.kubagro.ru/2017/07/pdf/ 114.pdf

13 Koc G.C., Dirim S.N. Spray dried spinach juice: powder properties // Journal of Food Measurement and Characterization. 2018. V. 12. № 3. P. 1654–1668. doi: 10.1007/s11694–018–9781–9

14 Lopez-Nicolas R., Frontela-Saseta C., González-Abellan R., Barado-Piqueras R. Folate fortification of white and whole-grain bread by adding Swiss chard and spinach. Acceptability by consumers // LWT – Food Science and Technology. 2014. V. 59. № 1. P. 263–269. doi: 10.1016/j.lwt.2014.05.007

15 Khan M.A., Mahesh C., Semwal A.D., Sharma G.K. Effect of spinach powder on physico-chemical, rheological, nutritional and sensory characteristics of chapati premixes // Journal of Food Science and Technology. 2015. V. 52. № 4. P. 2359–2365. doi: 10.1007/s13197–013–1198–1

16 Galla N.R., Pamidighantam P.R., Karakala B., Gurusiddaiah M.R. et al. Nutritional, textural and sensory quality of biscuits supplemented with spinach // International Journal of Gastronomy and Food Science. 2017. № 7. P. 20–26. doi: 10.1016/j.ijgfs.2016.12.003

REFERENCES

1 Bogomolova I.P., Belimova E.A. Directions and mechanisms of state regulation of the production of functional bakery products. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2014. no. 2. pp. 177–183. doi: 10.20914/2310–1202–2014–2–177–183 (in Russian)

2 Kalashnova T.V., Belyaeva I.A. Botanical description, morphological structure assessment of Spinaeia oleracca. *Sovremennaya nauka i innovatsii* [Modern Science and Innovations]. 2014. no. 4(8). pp. 33–37. Available at: http://pf.ncfu.ru/data/files/docs/science/mag/Журнал%20Современная%20наука%20и%20инновации%204%20(8).pdf (in Russian)

3 Jiraungkoorskul W. Review of Neuro-nutrition Used as Anti-Alzheimer Plant, Spinach, *Spinacia oleracea*, Pharmacognosy Review. 2016. vol. 10. no. 20. pp. 105–108. doi: 10.4103/0973–7847.194040

4 Neascu M., Vaughan N., Raikos V., Multari S. et. al. Phytochemical profile of commercially available food plant powders: their potential role in healthier food reformulations. Food Chemistry. 2015. vol. 179. pp. 159–169. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.01.128

5 Jaime L., Vazquez E., Fornari T., Carmen López-Hazas M. et. al. Extraction of functional ingredients from spinach (*Spinacia oleracea* L.) using liquid solvent and supercritical CO_2 extraction. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2015. vol. 95. no. 4. pp. 722–729. doi: 10.1002/jsfa.6788

6 Hallavant C., Ruas M.-P. The first archaeobotanical evidence of Spinacia oleracea L. (spinach) in late 12th–mid 13th century a.d. France. Vegetation History and Archaeobotany. 2014. vol. 23. no. 2. pp. 163–165. doi: 10.1007/s00334–013–0400–8

7 Metodicheskie rekomendacii MR 2.3.1.2432–08. Normy fiziologicheskih potrebnostej v jenergii i pishhevyh veshhestvah dlja razlichnyh grupp naselenija Rossijskoj Federacii [Methodical recommendations MR 2.3.1.2432–08. The norms of psysiological requirements in energy and nutrients for different population groups in Russian Federation]. Moscow, Federal Centre of hygiene and epidemiology of Rospotrebnadzor, 2009. 36 p. Available at: http://rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=4583 (in Russian)

8 Mironova K.I., Zemlyakova E.S. The chemical composition of plant extracts, positive impact on visual function. *Vestnik molodezhnoj nauki* [The Bulletin of Youth Science]. 2015. no. 1(1). pp. 7. Available at: http://vestnikmolnauki.ru/wp-content/uploads/2016/08/mironova-1.pdf (in Russian)

9 Xi Y., Xiaojuan L., McClements D.J., Yong C. et al. Enhancement of phytochemical bioaccessibility from plant-based foods using excipient emulsions: impact of lipid type on carotenoid solubilization from spinach. Food & Function. 2018. no. 9(8). pp. 4352–4365. doi: 10.1039/C8FO01118D

10 Limareva N.S., Donchenko L.V. Functional beverages containing pectin based on spinach. *Sovremennaya nauka i innovatsii* [Modern Science and Innovations]. 2016. no. 4. pp. 99–104. Available at: http://pf.ncfu.ru/data/files/docs/science/mag/Журнал%204_2016.pdf (in Russian)

11 Sarimiseli A., Yuceer M. Investigation of infrared drying behavior of spinach leaves using ANN methodology and dried product quality. Chemical and Process Engineering. 2015. no. 36(4). pp. 425–436. doi: 10.1515/cpe-2015–0030

12 Rodionova L. Ya., Sokol N.V., Shubina L.N., Olhovatov E.A. Technology and application of powdered food additives from vegetable raw materials. *Nauchnyj zhurnal KubGAU* [Scientific Journal of Kuban State Agrarian University]. 2017. no. 131(07). pp. 1389–1404. Available at: http://ej.kubagro.ru/2017/07/pdf/114.pdf (in Russian)

13 Koc G.C., Dirim S.N. Spray dried spinach juice: powder properties. Journal of Food Measurement and Characterization. 2018. vol. 12. no. 3. pp. 1654–1668. doi: 10.1007/s11694–018–9781–9

14 Lopez-Nicolas R., Frontela-Saseta C., Gonzalez-Abellan R., Barado-Piqueras R. Folate fortification of white and whole-grain bread by adding Swiss chard and spinach. Acceptability by consumers. LWT – Food Science and Technology. 2014. vol. 59. no. 1. pp. 263–269. doi: 10.1016/j.lwt.2014.05.007

15 Khan M.A., Mahesh C., Semwal A.D., Sharma G.K. Effect of spinach powder on physico-chemical, rheological, nutritional and sensory characteristics of chapati premixes. Journal of Food Science and Technology. 2015. vol. 52. no. 4. pp. 2359–2365. doi: 10.1007/s13197–013–1198–1

16 Galla N.R., Pamidighantam P.R., Karakala B., Gurusiddaiah M.R. et al. Nutritional, textural and sensory quality of biscuits supplemented with spinach. International Journal of Gastronomy and Food Science. 2017. no. 7. pp. 20–26. doi: 10.1016/j.ijgfs.2016.12.003

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Александр Н. Сапожников к.т.н., доцент, кафедра технологии и организации пищевых производств, Новосибирский государственный технический университет, пр-т Карла Маркса, 20, г. Новосибирск, 630073, Россия, a.sapozhnikov@corp.nstu.ru

Анастасия В. Копылова ассистент, кафедра технологии и организации пищевых производств, Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, 630073, Россия, kopylova@corp.nstu.ru

Юлия О. Крайнова магистрант, факультет бизнеса, Новосибирский государственный технический университет, пр-т Карла Маркса, 20, г. Новосибирск, 630073, Россия, xomka_97@mail.ru

Станислав А. Крайнов магистрант, факультет бизнеса, Новосибирский государственный технический университет, пр-т Карла Маркса, 20, г. Новосибирск, 630073, Россия, stas_krainov@mail.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Aleksandr N. Sapozhnikov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology and organization of food industries department, Novosibirsk State Technical University, Karl Marx Av., 20 Novosibirsk, 630073, Russia, a.sapozhnikov@corp.nstu.ru

Anastasiya V. Kopylova assistant, technology and organization of food industries department, Novosibirsk State Technical University, Karl Marx Av., 20 Novosibirsk, 630073, Russia, kopylova@corp.nstu.ru

Yuliya O. Krainova master student, faculty of business, Novosibirsk State Technical University, Karl Marx Av., 20 Novosibirsk, 630073, Russia, xomka_97@mail.ru

Stanislav A. Krainov master student, faculty of business, Novosibirsk State Technical University, Karl Marx Av., 20 Novosibirsk, 630073, Russia, stas_krainov@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

CONTRIBUTION

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

ПОСТУПИЛА 21.11.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 11.12.2018

RECEIVED 11.21.2018

ACCEPTED 12.11.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 663.952.2

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-240-246

Региональные особенности формирования антиоксидантных свойств черного байхового чая

Людмила П. Нилова [1] nilova_l_p@mail.ru
Светлана М. Малютенкова [1] malutesha66@mail.ru
Василий Р. Тверской [1] vasilybasil@gmail.com

[1] Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул, Политехническая, 29, г. Санкт-Петербург, 195251, Россия

Аннотация. В статье рассмотрено влияние региона происхождения черного байхового чая на формирование его антиоксидантных свойств. В исследовании принимали участие образцы черного байхового чая, поступающие в розничную торговлю Санкт-Петербурга: индийский, цейлонский, китайский и кенийский. Установлены существенные отличия количественного состава индивидуальных антиоксидантов в образцах черного чая в зависимости от региона произрастания, как в сухом чайном листе, так и настое. Водорастворимые экстрактивные вещества в сухом чайном листе и настое преобладали в цейлонском чае. Танин преобладал в индийском чае, а общие фенольные соединения и флавоноиды в кенийском. Максимальный переход танинов в настой происходил в кенийском чае, что составило 97,9% от его содержания в сухом чайном листе. Более высокая температура заваривания черного чая увеличивала экстракцию индивидуальных антиоксидантов. Черный чай в зависимости от региона происхождения по содержанию общих фенольных соединений и флавоноидов распределился следующим образом: кенийский > китайский > индийский > цейлонский. Антиоксидантные свойства чая изучали по антирадикальной активности методом DPPH и хелатирующей способности методом FRAP. Наибольшей антирадикальной активностью обладал китайский чай, а способностью связывать в комплексы хелатные соединения – кенийский чай. Отклонения антиоксидантных свойств между образцами черного чая из разных регионов максимально составляли 10% по хелатирующей способности (метод FRAP) и 35,5% по антирадикальной активности (метод DPPH). Максимальная антирадикальная активность и хелатирующая способность всех образцов черного чая проявлялась при более высокой температуре заваривания чая.

Ключевые слова: чай черный байховый, регион произрастания, индивидуальные антиоксиданты, антиоксидантная активность, FRAP, DPPH

Regional features of the formation of the antioxidant properties of black tea

Liudmila P. Nilova [1] nilova_l_p@mail.ru
Svetlana M. Malyutenkova [1] malutesha66@mail.ru
Vasilii R. Tverskoi [1] vasilybasil@gmail.com

[1] Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Politechnicheskaya St., 29, Saint-Petersburg, 195251, Russia

Abstract. The article considers the influence of the region of origin of black tea on the formation of its antioxidant properties. The study involved samples of black tea, coming to the retail trade of St. Petersburg from Indian, Ceylon, Chinese and Kenyan. Significant differences were found in the quantitative composition of individual antioxidants in black tea samples, depending on the region of growth, both in the dry tea leaf and in the infusion. Water-soluble extractives in dry tea leaves and infusion prevailed in Ceylon tea. Tannin prevailed in Indian tea, and total phenolic compounds and flavonoids in Kenyan. The maximum transition of tannins in the infusion occurred in Kenyan tea, which accounted for 97.9% of its content in dry tea leaves. The higher brewing temperature of black tea increased the extraction of individual antioxidants. Black tea, depending on the region of origin, was distributed according to the content of total phenolic compounds and flavonoids as follows: Kenyan tea samples > Chinese tea samples > Indian tea samples > Ceylon tea samples. The antioxidant properties of tea were studied for anti-radical activity by the DPPH method and chelation ability by the FRAP method. Chinese tea samples had the highest antiradical activity, and Kenyan tea samples had the ability to bind chelate compounds into complexes. The deviation of antioxidant properties between samples of black tea from different regions was a maximum of 10% in terms of chelating ability (FRAP method) and 35.5% in anti-radical activity (DPPH method). The maximum antiradical activity and chelating ability of all samples of black tea was indicated at a higher tea brewing temperature.

Keywords: black tea, region of growth, individual antioxidant, antioxidant activity, FRAP, DPPH

Для цитирования
Нилова Л.П., Малютенкова С.М., Тверской В.Р. Региональные особенности формирования антиоксидантных свойств черного байхового чая // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 240–246. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-240-246

For citation
Nilova L.P, Malyutenkova S.M., Tverskoi V.R. Regional features of the formation of the antioxidant properties of black tea. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 240–246. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-240-246

Введение

Чай является одним из лучших напитков, используемых во всем мире каждый день. Наиболее распространенным чаем считается черный чай – 78%, на долю зеленого приходится только 20%, на желтый и красный – 2% [1]. Чай не только обладает высокими вкусовыми качествами, возможностью сочетания его приготовления с другими продуктами (сахаром, молоком, вареньем и др.), но и тонизирующим, антибактериальным, антиоксидантным и профилактическим эффектами [2–4]. Как правило, антиоксидантная активность (АОА) уменьшается в следующем порядке: зеленый чай > оолонг чай > черный чай, хотя некоторые исследования показывают, что черные чаи проявляют большую АОА, чем зеленые [5, 7–10]. Высокую АОА зеленого чая обусловливают гидролизуемые танины, которые в процессе ферментации черного чая частично конденсируются, снижая АОА, но проявляя синергетический эффект за счет совместного присутствия гидролизуемых и конденсируемых танинов [10]. Зеленый чай, в первую очередь, проявляет более высокую антирадикальную активность (АРА). Результаты ABTS-теста чая, полученного из одного и того же сырья (Малави, Африка) по разным технологиям выявили следующую тенденцию в его АРА: зеленый > белый > черный > черный СТС. В то же время АОА чая по способности связывать металлы переменной валентности была другая: белый ≥ черный > черный СТС > зеленый [6].

На антиоксидантную активность чая влияет регион произрастания, высота над уровнем моря, размер и качество чайного листа [7, 9, 11]. ORAC-тест расположил АОА черного чая в зависимости от региона произрастания, моль ТЭ/г: Китай (548,8–970,9) < Вьетнам (783,9–968,2) < Аргентина (1174,7) < Ява (1226,2–1263,2) ≤ Шри Ланка (1213,8–1224,3) < Гвинея (1265,8) ≤ Суматра (1107,9–1529,1) ≤ Африка (1376,4–1456,3) [7]. Высокогорный чай обладает меньшей АОА, чем выращенный у подножия гор, что связывают с более низким содержанием полифенолов на 22–28%. Причем маленькие листья содержат на 15% больше полифенолов, чем листья крупного размера независимо от региона и высоты произрастания [7]. АОА черного чая связана не только с разнообразием состава полифенолов чайного листа, но и процессами ферментации. Под действием полифенолоксидазы происходящий ресинтез полифенолов чайного листа во время ферментации, приводит к образованию теафлавинов и теарубигинов, обусловливающих сенсорные и антиоксидантные свойства черного чая [5, 9]. Основными антиоксидантами черного чая являются теафлавины и катехины, содержание которых составляет 7:3 [7]. Из 12 идентифицированных методом ЯМР флавонов в черном чае наибольшую АОА проявлял (–) – эпигаллокатехин галлат [12]. Характерные особенности ферментации черного чая, возникающие под действием определенного спектра микроорганизмов, также могут оказать влияние на АОА. Так, доминирование *Aspergillus niger* при ферментации китайского Пуэр чая придает ему своеобразный аромат и вкус, повышая АРА (DPPH-тест), но снижая хелатирующую способность (FRAP-тест) по сравнению с китайским черным чаем другой технологической обработки [5]. При длительном хранении чая количество теафлавинов и катехинов уменьшается, что приводит снижению антиоксидантных свойств чая [7]. При этом влажность чая влияет только на микробиологические показатели при хранении, не оказывая влияния на количество антиоксидантов и АОА [13].

Приготовление настоя при заваривании чая не позволяет полностью экстрагировать антиоксиданты. Использование ультразвукового воздействия позволило увеличить выход в настой до 2 раз больше фенольных соединений, до 2,5 – флавоноидов, что повысило АОА в 1,5–2,2 раза [14]. Увеличение продолжительности ферментации при производстве быстрорастворимого чая из BMF до 3 ч позволило повысить выход в экстракт общих фенольных соединений на 16%, включая теофлавины, катехины и кофеин. Количество галловой кислоты при этом уменьшалось. Приготовление напитка из быстрорастворимого чая уменьшало АОА в 3,7–5,2 раза, полученного из BMF или BMF с ферментацией, соответственно [11].

На российском рынке основное количество чая представлено различными производителями, осуществляющими закупку чая на международном рынке, купажирование и / или расфасовку под собственным брендом [1]. В результате в розничной торговле ассортимент чая отличается видом, способом ферментации, регионом произрастания и собственными наименованиями для удовлетворения любых потребностей покупателей [15]. Изучение новых свойств чая, таких, как АОА, будет способствовать его продвижению и увеличению объема продаж.

Цель работы – исследование содержания индивидуальных антиоксидантов и антиоксидантных свойств черного байхового чая разных мест произрастания, реализуемых в розничной торговле Санкт-Петербурга.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования был выбран чай черный байховый, реализуемый под брендом «Greenfield», упакованный ООО «ОРИМИ», разных мест произрастания: индийский «Classic Breakfast» из провинции Ассам, цейлонский «Golden Ceylon» из провинции Ругуну, кенийский «Kenyan Sunrise» из провинции Керичо, китайский «Magic Yunnan» из провинции ЮньНань.

Исследования проводили в сухом чае и в настоях, полученных завариванием чая (3 г на 250 мл воды). Для заваривания чая использовали воду с температурой 95 и 80 °С. Продолжительность заваривания 5 мин. Содержание водорастворимых экстрактивных веществ определяли по ГОСТ 28551–90, танина – по ГОСТ 19885–74. Общее содержание фенольных веществ в пересчете на галловую кислоту (ГК) определяли спектрофотометрически при 725 нм с использованием реактива Фолина-Чокальтеу (смесь фосфорно-вольфрамовой и фосфорно-молибденовой кислот) [16]. Общее содержание флавоноидов в пересчете на рутин определяли спектрофотометрически при 510 нм с хлоридом алюминия; содержание танина – титрованием марганцевокислым калием в присутствии индигокармина [17]. Антиоксидантные свойства чая определяли спектрофотометрически методом FRAP с орто-фенантролином и Тритоном Х-100 при длине волны 593 нм; антирадикальные свойства – спектрофотометрическим методом DPPH с использованием стабильного свободного радикала дифенилпикрилгидразила при длине волны 517 нм. При определении антиоксидантной и антирадикальной активности в качестве стандарта использовали аскорбиновую кислоту (АК) [16, 18]. Повторность опытов трехкартная. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с привлечением программных средств Microsoft Office 2010.

Результаты и обсуждение

Все исследуемые образцы чая были приблизительно одинаковой интенсивности цвета сухого чайного листа. Размер чайного листа зависел от происхождения: китайский < кенийский < индийский < цейлонский. Отклонения по размеру листа не превышали 8%, за исключением цейлонского чая, размер листа которого был в 1,5 раза больше. Образцы чая отличались степенью засоренности, и для чистоты эксперимента в исследовании одревесневшие частицы не участвовали.

Исследуемые образцы черного чая содержали разное количество экстрактивных веществ как в сухом листе, так и в настое (рисунок 1). Их количество зависело от страны происхождения чая: цейлонский > индийский ≥ кенийский > китайский. Операция измельчения чайного листа при пробоподготовке для определения экстрактивных веществ способствовала большему их извлечению, чем простое настаивание при заваривании чая. В результате в настой чая перешло на 15,5–23,3% меньше водорастворимых экстрактивных веществ. Наибольшая разница была зафиксирована у цейлонского чая. Больше экстрактивных веществ перешло в настой при использовании более высокой температуры заваривания чая. При этом заваривание при 80 °С позволило увеличить выход экстрактивных веществ в китайском чае.

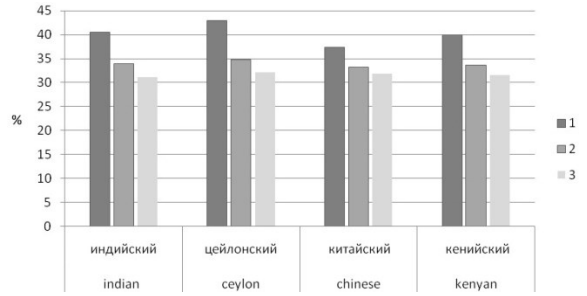


Рисунок 1. Количество водорастворимых экстрактивных веществ в чайном листе (1) и настоях после заваривания при температуре 95 (2) и 80 °С (3)

Figure 1. The water-soluble extractives in tea leaves (1) and infusions after brewing at 95 (2) and 80 °C (3)

Переход экстрактивных веществ был вызван переходом танина из чайного листа в настой. Содержание танина в сухом чайном листе варьировало от региона происхождения чая (таблица 1). Наибольшее его количество было обнаружено в индийском чае из провинции Ассам, расположенной в предгорьях Гималаев. Органолептически в нем ощущалась терпкость, интенсивный цвет медно-красных оттенков обусловлен присутствием танинов, которые перешли из листа в настой. Высокое содержание танинов было в кенийском чае, который по интенсивности цвета не отличался от индийского. Зато во вкусе одновременно с терпкостью обнаруживались грубые нотки. В цейлонском чае танина было меньше, чем в индийском и кенийском чае, несмотря на самое высокое содержание экстрактивных веществ в листе. При заваривании чая переход танинов в настой был связан с температурой воды, при повышении которой выход танина увеличивался (таблица 2).

Таблица 1.

Результаты инструментальных исследований образцов черного байхового чая

Table 1.

The results of instrumental studies of samples of black tea

Показатели | Indicators	Вид чая | Type of tea			
	Индийский Indian	Цейлонский Ceylon	Китайский Chinese	Кенийский Kenyan
Танин, г/100 г | Tannin, g/100 g	9,12 ± 0,22	8,21 ± 0,10	8,05 ± 0,10	8,66 ± 0,12
Общие фенольные соединения, г ГК/100 г Total phenolic compounds, g GA/100 g	4,42 ± 0,12	3,34 ± 0,14	4,55 ± 0,20	4,80 ± 0,15
Общие флавоноиды, г рутина/100 г Total flavonoids, g rutin/100 g	0,614 ± 0,001	0,545 ± 0,001	0,690 ± 0,001	0,932 ± 0,001

Таблица 2.

Результаты инструментальных исследований настоя черного байхового чая при разных температурах заваривания

Table 2.

The results of instrumental studies of black long leaf tea at different brewing temperatures

Показатели | Indicators	Вид чая | Type of tea			
	Индийский Indian	Цейлонский Ceylon	Китайский Chinese	Кенийский Kenyan
Температура заваривания чая 95 °С | Tea brewing temperature 95 °С				
Танин, г/100 г | Tannin, g/100 g	8,61 ± 0,16	7,81 ± 0,10	5,85 ± 0,10	8,48 ± 0,12
Общие фенольные соединения, г ГК/100 г Total phenolic compounds, g GA/100 g	3,99 ± 0,10	2,97 ± 0,09	4,18 ± 0,09	4,32 ± 0,12
Общие флавоноиды, г рутина/100 г Total flavonoids, g rutin/100 g	0,541 ± 0,001	0,468 ± 0,001	0,625 ± 0,001	0,812 ± 0,001
Температура заваривания чая 80 °С | Tea brewing temperature 80 °С				
Танин, г/100 г | Tannin, g/100 g	8,45 ± 0,16	7,68 ± 0,14	5,70 ± 0,14	8,29 ± 0,15
Общие фенольные соединения, г ГК/100 г Total phenolic compounds, g GA/100 g	3,78 ± 0,10	2,88 ± 0,10	4,00 ± 0,10	4,16 ± 0,08
Общие флавоноиды, г рутина/100 г Total flavonoids, g rutin/100 g	0,514 ± 0,001	0,449 ± 0,001	0,610 ± 0,001	0,772 ± 0,001

Содержание общих фенольных соединений и флавоноидов не было связано с количеством танина в сухом чайном листе и настое. Они преобладали в чайном листе из Кении, их количество было выше на 5–30 и 26–41%, соответственно. Причем в индийском чае – лидере по содержанию танина в чайном листе, флавоноидов было на 35% меньше, чем в кенийском чае. По количеству общих фенольных соединений исследуемые образцы сухого чайного листа имели следующий ряд: кенийский > китайский > индийский > цейлонский. Такую же последовательность имело и содержание флавоноидов. По сравнению с исследованиями других авторов по содержанию этих веществ в свежевыработанном чае [7, 9], чай, реализуемый на рынке Санкт-Петербурга, содержит их в десятки раз меньше, что вполне объяснимо сроками закупки, транспортирования и нахождением в розничной торговле.

В настое чая в зависимости от места его происхождения содержание танинов имело такой же ряд, как и в сухом чайном листе. Следует отметить, что в кенийском чае произошел максимальный переход танинов в настой, что составило 97,9% от его содержания в сухом чайном листе. В настоях индийского и цейлонского чая танинов содержалось меньше, что связано как с их количеством в сухом чайном листе, так и с интенсивностью перехода в настой. Меньше всего танинов содержал настой китайского чая, в большей степени из-за более низкой его экстрактивности. Содержание танинов в его настое составляло только 72,7% от содержания в сухом чайном листе. Заваривание чая при более низкой температуре уменьшило выход танинов в настой в среднем на 2% по сравнению с использованием более высокой температуры заваривания.

При заваривании чая происходило экстрагирование общих фенольных соединений и флавоноидов, но в разных концентрациях в зависимости от вещества и региона происхождения чая. В настое, заваренном при 95° С, общие фенольные соединения составляли 88–92% от их количества в сухом чайном листе,

а флавоноиды – от 78 до 90%. Наименьший переход фенольных соединений и особенно флавоноидов, был в кенийском чае. Но несмотря на это зависимость их содержания от региона происхождения не менялась и оставалась одинаковой как в сухом листе, так и настоях, заваренных при разных температурах. А кенийский чай оставался лидером содержания общих фенольных соединений и флавоноидов. Использование более низкой температуры заваривания замедлило переход биологически активных веществ в настой, но он был незначительным, и разница в содержании этих веществ колебалась от 3 до 5%. Следует выделить китайский чай, в настой которого при использовании более низкой температуры заваривания интенсивнее переходили общие флавоноиды, чем общие фенольные соединения. Так, содержание флавоноидов было только на 2,4% меньше при заваривании чая при температуре 80 °С, чем при температуре 95 °С, а фенольных соединений – на 4,3%.

Исследуемые образцы черного байхового чая обладали разными антиоксидантными свойствами – антирадикальной активностью (DPPH-тест) и хелатирующей способностью (FRAP-тест). Результаты исследованиий представлены на рисунках 2 и 3.

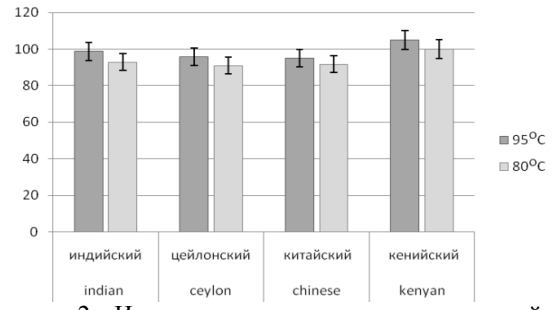


Рисунок 2. Исследование антиоксидантных свойств FRAP-тестом в настое чая в зависимости от температуры заваривания, мкг аскорбиновой кислоты/мл

Figure 2. The study of antioxidant properties of the FRAP-test in the infusion of tea depending on the infusion temperature, μg of ascorbic acid/ml

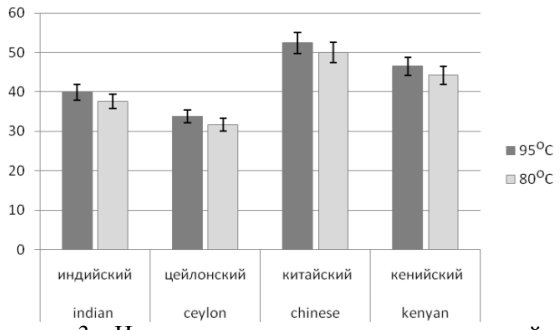


Рисунок 3. Исследование антиоксидантных свойств DPPH-тестом в настое чая в зависимости от температуры заваривания, мкг аскорбиновой кислоты/мл

Figure 3. The study of antioxidant properties of the DPPH – test in the infusion of tea depending on the infusion temperature, μg of ascorbic acid/ml

По способности связывать хелатные соединения в комплексы АОА настоя черного чая имела следующий ряд: кенийский > индийский > цейлонский ≥ китайский. Максимальные значения доходили до 105 мкг/мл в пересчете на аскорбиновую кислоту у кенийского чая. Разница между максимальным значением FRAP у кенийского чая и минимальным значением у китайского чая составила около 10%. Исследуемые образцы черного чая в большей степени отличались антирадикальной активностью, определенной DPPH-тестом: китайский > кенийский > индийский > цейлонский. Китайский чай достиг значений АРА 52,4 мкг/мл в пересчете на аскорбиновую кислоту. Отличия максимального и минимального значений составили 35,5%. При этом антиоксидантные свойства черного чая, реализуемого в Санкт-Петербурге, ниже, чем у свежевыработанного чая [6, 7]. Для решения этого вопроса производители чая используют добавки растительного происхождения, которые хотя и снижают содержание танина и кофеина, но повышают их АОА почти в 2 раза за счет других биологически активных веществ фенольного типа [20]. Таким образом, общие фенольные соединения за счет феноксильного радикала способны не только препятствовать действию металлов переменной валентности, связывая их в комплексы, но и напрямую гасить свободные радикалы. Максимальные антиоксидантные свойства проявлялись у черного чая, заваренного при 95 °С, что способствовало переходу АО в настой. При снижении температуры заваривания, полученные настои чая, обладали антиоксидантными свойствами, но менее выраженными, особенно в отношении способности гасить свободные радикалы.

При употреблении чая поступление антиоксидантов в организм человека зависит не только от температуры заваривания. Антирадикальные свойства черного чая снижает добавление сахара и особенно молока в 2 и 3 раза соответственно. При этом добавление молока повышает АОА чая в модельной системе с линолевой кислотой [4]. Употребление чая с лимоном способствует временному снижению его антиоксидантных свойств за счет перехода танинов в неионизированное состояние, которые восстанавливаются в щелочной среде кишечника [10].

Заключение

Черный байховый чай, реализуемый на рынке Санкт-Петербурга, различается содержанием танинов, общих фенольных соединений и флавоноидов в зависимости от региона произрастания. Водорастворимые экстрактивные вещества в сухом чайном листе и настое преобладали в цейлонском чае; танин – в индийском чае;

общие фенольные соединения и флавоноиды – в кенийском. Более высокая температура заваривания черного чая увеличивала экстракцию индивидуальных антиоксидантов. Максимальный переход танинов в настой происходил в кенийском чае, что составило 97,9% от его содержания в сухом чайном листе. В зависимости от региона происхождения черный чай по содержанию индивидуальных АО – общих фенольных соединений и флавоноидов распределился следующим образом: кенийский > китайский > индийский > цейлонский. Высокое содержание индивидуальных АО в чае оказало влияние на формирование их антиоксидантных свойств, которые проявлялись в способности ингибировать свободные радикалы и образовывать комплексные соединения с хелатными соединениями. Наибольшей антирадикальной активностью обладал китайский чай, а способностью связывать в комплексы хелатные соединения – кенийский чай. Отклонения антиоксидантных свойств между образцами черного чая из разных регионов максимально составляли 10% по хелатирующей способности (метод FRAP) и 35,5% – по антирадикальной активности (метод DPPH).

ЛИТЕРАТУРА

1 Николаева М.А., Карташова Л.В. Рынок чая и кофе: состояние и перспективы развития // Товаровед продовольственных товаров. 2018. № 3. С. 63–70.

2 Naveed M., BiBi J., Kamboh A.A., Suheryani I. et al. Pharmacological values and therapeutic properties of black tea (*Camellia sinensis*): A comprehensive overview // Biomedicine and Pharmacotherapy. 2018. № 100. P. 521–531. doi: 10.1016/j.biopha.2018.02.048

3 Sanliera N., Gokcenb B.B., Altug M. Tea consumption and disease correlations // Trends in Food Science and Technology. 2018. № 78. P. 95–106. doi: 10.1016/j.tifs.2018.05.026

4 Sharma V., Kumar H.V., Rao L.J.M. Influence of milk and sugar on antioxidant potential of black tea // Food Research International. 2008. № 41. P. 124–129. doi:10.1016/j.foodres.2007.10.009

5 Lv H., Zhang Y., Shi J., Lin Zh. Phytochemical profiles and antioxidant activities of Chinese dark teas obtained by different processing technologies // Food Research International. 2017. № 100. P. 486–493. doi: 10.1016/j.foodres.2016.10.024

6 Carloni P., Tiano L., Padella L., Bacchetti T. et al. Antioxidant activity of white, green and black tea obtained from the same tea cultivar // Food Research International. 2013. № 53. P. 900–908. doi: 10.1016/j.foodres.2012.07.057

7 Zhang Ch., Suen C. Li-Ch., Yang Ch., Quek S.Y. Antioxidant capacity and major polyphenol composition of teas as affected by geographical location, plantation levation and leaf grade // Food Chemistry. 2018. № 244. P. 109–119. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.09.126

8 Gulua L., Nikolaishvili L., Jgenti M., Turmanidze T. et al. Polyphenol content, anti-lipase and antioxidant activity of teas made in Georgia // Annals of Agrarian Science. 2018. № 16. P. 357–361. doi: 10.1016/j.aasci.2018.06.006

9 Bhuyan L.P., Sabhapondit S., Baruah B.D., Bordoloi C. et al. Polyphenolic compounds and antioxidant activity of CTC black tea of North-East India // Food Chemistry. 2013. № 141. P. 3744–3751. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.06.086

10 Рябинина И.Е., Зотова Е.Е., Пономарева Н.И. Танины чая и травяных экстрактов: природа, содержание, активность // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2014. № 4. С. 47–51. doi: 10.14258/jcprm.1402169

11 Perera G.A.A.R., Amarakoon A.M.T., Illeperuma D.Ch.K., Muthukumarana P.K.P. Effects of raw material on the chemical composition, organoleptic properties, antioxidant activity, physical properties and the yield of instant black tea // LWT – Food Science and Technology. 2015. № 63. P. 745–750. doi: 10.1016/j.lwt.2015.03.060

12 Zhou H., Li H.-M., Du Ya.-M., Yan R.-A., Ou Sh.-Y. et al. C-geranylated flavanones from YingDe black tea and their antioxidant and a-glucosidase inhibition activities // Food Chemistry. 2017. № 235. P. 227–233. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.05.034

13 Fanaro G.B., Hassimotto N.M.A., Bastos D.H.M., Villavicencio A.L.C.H. Effects of γ-radiation on microbial load and antioxidant proprieties in black tea irradiated with different water activities // Radiation Physics and Chemistry. 2014. № 97. P. 217–222. doi: 10.1016/j.radphyschem.2013.11.036

14 Bakht Md.A., Geesi M.H., Riadi Ya., Imran M. et al. Ultrasound-assisted extraction of some branded tea: Optimization based on polyphenol content, antioxidant potential and thermodynamic study // Saudi Journal of Biological Sciences. 2018. doi: 10.1016/j.sjbs.2018.07.013.

15 Нилова Л.П., Малютенкова С.М. Потребительская стоимость пищевых продуктов как фактор конкурентоспособности розничного торгового предприятия // Международный технико-экономический журнал. 2017. № 6. С. 38–41.

16 Рогожин В.В., Рогожина Т.В. Практикум по биохимии сельскохозяйственной продукции. СПб: ГИОРД, 2016. 480 с.

17 Jones A., Acquaviva A., Dennis G.R., Shalliker R.A et al. Bioactive screening of complex tea samples using the ferric reducing antioxidant power assay incorporating reaction flow HPLC columns for post column derivatisations // Microchemical Journal. 2018. № 138. P. 197–202. doi: 10.1016/j.microc.2018.01.005

18 Нилова Л.П. Антиоксидантная активность порошков из растительного сырья в модельной системе in vitro // Торгово-экономические проблемы регионального бизнес пространства. 2014. № 1. С. 274–276.

19 Черноусова О.В., Кривцова А.И., Кучменко Т.А. Определение антиоксидантной активности белого чая // Вестник ВГУИТ. 2018. Т.80. № 1. С. 133–139. doi: 10.20914/2310–1202–2018–1–133–139

20 Пилипенко Т.В., Коротышева Л.Б. Изучение качества и функциональных свойств напитков на основе чая // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2016. Т. 4. № 1. С. 87–94. doi: 10.14529/food160111

REFERENCES

1 Nikolaeva M.A., Kartashova L.V. Tea and coffee market: state and development prospects. *Tovaroved prodovol'stvennyh tovarov* [Goods manager of food products]. 2018. no. 3. pp. 63–70. (in Russian)

2 Naveed M., BiBi J., Kamboh A.A., Suheryani I. et al. Pharmacological values and therapeutic properties of black tea (*Camellia sinensis*): A comprehensive overview. Biomedicine and Pharmacotherapy. 2018. no. 100. pp. 521–531. doi: 10.1016/j.biopha.2018.02.048

3 Sanliera N., Gokcenb B.B., Altug M. Tea consumption and disease correlations. Trends in Food Science and Technology. 2018. no. 78. pp. 95–106. doi: 10.1016/j.tifs.2018.05.026

4 Sharma V., Kumar H.V., Rao L.J.M. Influence of milk and sugar on antioxidant potential of black tea. Food Research International. 2008. no. 41. pp. 124–129. doi:10.1016/j.foodres.2007.10.009

5 Lv H., Zhang Y., Shi J., Lin Zh. Phytochemical profiles and antioxidant activities of Chinese dark teas obtained by different processing technologies. Food Research International. 2017. no. 100. pp. 486–493. doi: 10.1016/j.foodres.2016.10.024

6 Carloni P., Tiano L., Padella L., Bacchetti T. et al. Antioxidant activity of white, green and black tea obtained from the same tea cultivar. Food Research International. 2013. no. 53. pp. 900–908. doi: 10.1016/j.foodres.2012.07.057

7 Zhang Ch., Suen C. Li-Ch., Yang Ch., Quek S.Y. Antioxidant capacity and major polyphenol composition of teas as affected by geographical location, plantation levation and leaf grade. Food Chemistry. 2018. no. 244. pp. 109–119. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.09.126

8 Gulua L., Nikolaishvili L., Jgenti M., Turmanidze T. et al. Polyphenol content, anti-lipase and antioxidant activity of teas made in Georgia. Annals of Agrarian Science. 2018. no. 16. pp. 357–361. doi: 10.1016/j.aasci.2018.06.006

9 Bhuyan L.P., Sabhapondit S., Baruah B.D., Bordoloi C. et al. Polyphenolic compounds and antioxidant activity of CTC black tea of North-East India. Food Chemistry. 2013. no. 141. pp. 3744–3751. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.06.086

10 Ryabinina E.I., Zotova E.E., Ponomareva N.I The tannins of tea and herbal extracts: the nature, content and activity. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Himiya. Biologiya. Farmaciya.* [Scientific journal Processing of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy]. 2014. no. 4. pp. 47–51. doi: 10.14258/jcprm.1402169 (in Russian)

11 Perera G.A.A.R., Amarakoon A.M.T., Illeperuma D.Ch.K., Muthukumarana P.K.P. Effects of raw material on the chemical composition, organoleptic properties, antioxidant activity, physical properties and the yield of instant black tea. LWT – Food Science and Technology. 2015. no. 63. pp. 745–750. doi: 10.1016/j.lwt.2015.03.060

12 Zhou H., Li H.-M., Du Ya.-M., Yan R.-A., Ou Sh.-Y. et al. C-geranylated flavanones from YingDe black tea and their antioxidant and a-glucosidase inhibition activities. Food Chemistry. 2017. no. 235. pp. 227–233. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.05.034

13 Fanaro G.B., Hassimotto N.M.A., Bastos D.H.M., Villavicencio A.L.C.H. Effects of γ-radiation on microbial load and antioxidant proprieties in black tea irradiated with different water activities. Radiation Physics and Chemistry. 2014. no. 97. pp. 217–222. doi: 10.1016/j.radphyschem.2013.11.036

14 Bakht Md.A., Geesi M.H., Riadi Ya., Imran M. et al. Ultrasound-assisted extraction of some branded tea: Optimization based on polyphenol content, antioxidant potential and thermodynamic study. Saudi Journal of Biological Sciences. 2018. doi: 10.1016/j.sjbs.2018.07.013

15 Nilova L.P., Malyutenkova S.M. Consumer value of food as a factor in the competitiveness of a retail traiding interprise. *Mezhdunarodnyj tekhniko-ehkonomicheskij zhurnal* [International Technical-Economic Journal]. 2017. no. 6. pp.38–41. (in Russian)

16 Rogozhin V.V., Rogozhina T.V. *Praktikum po biohimii sel'skohozyajstvennoj produkcii*. [Workshop on biochemistry of agricultural products]. St. Petersburg, GIORD, 2016. 480 p. (in Russian)

17 Jones A., Acquaviva A., Dennis G.R., Shalliker R.A. et al. Bioactive screening of complex tea samples using the ferric reducing antioxidant power assay incorporating reaction flow HPLC columns for post column derivatisations. Microchemical Journal. 2018. no. 138. pp. 197–202. doi: 10.1016/j.microc.2018.01.005

18 Nilova L.P. Antioxidant activity of powders from plant materials in an in vitro model system. *Torgovo-ehkonomicheskie problemy regional'nogo biznes prostranstva.* [Trade and economic problems of the regional business space] 2014. no. 1. pp. 274–276. (in Russian)

19 Chernousova OV, Krivtsova A.I., Kuchmenko T.A. The study of antioxidant activity of white tea. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhnologij* [Processing of VSUET] 2018. vol. 80. no. 1. pp. 133–139. doi: 10.20914/2310–1202–2018–1–133–139. (in Russian)

20 Pilipenko T.V., Korotysheva L.B. Study of the quality and functional properties of tea-based beverages. *Vestnik YUzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Pishchevye i biotekhnologii* [Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology] 2016. vol. 4. no. 1. pp. 87–94. doi: 10.14529/food160111 (in Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Людмила П. Нилова к.т.н., доцент, Высшая школа сервиса и торговли, Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Политехническая, 29, г. Санкт-Петербург, 195251, Россия, nilova_l_p@mail.ru

Светлана М. Малютенкова к.т.н., доцент, Высшая школа сервиса и торговли, Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Политехническая, 29, г. Санкт-Петербург, 195251, Россия, malutesha66@mail.ru

Василий Р. Тверской магистрант, Высшая школа сервиса и торговли, Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Политехническая, 29, г. Санкт-Петербург, 195251, Россия, vasilybasil@gmail.com

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Людмила П. Нилова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Светлана М. Малютенкова предложила методику проведения эксперимента

Василий Р. Тверской обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 01.10.2018
ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 14.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Liudmila P. Nilova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Graduate School of Service and Trade, Institute of Industrial Management, Economics and Trade, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Politechnicheskaya St., 29, Voronezh, Saint-Petersburg, 195251, Russia, nilova_l_p@mail.ru

Svetlana M. Malyutenkova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Graduate School of Service and Trade, Institute of Industrial Management, Economics and Trade, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Politechnicheskaya St., 29, Voronezh, Saint-Petersburg, 195251, Russia, malutesha66@mail.ru

Vasilii R. Tverskoi master student, Graduate School of Service and Trade, Institute of Industrial Management, Economics and Trade, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Politechnicheskaya St., 29, Voronezh, Saint-Petersburg, 195251, Russia, vasilybasil@gmail.com

CONTRIBUTION

Liudmila P. Nilova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Svetlana M. Malyutenkova proposed a scheme of the experiment

Vasilii R. Tverskoi review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.1.2018
ACCEPTED 11.14.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 664.2.032

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-247-253

Развитие представлений о деформационно-прочностных свойствах мякоти картофельных клубней

Валерий Г. Жуков [1] z-v-gr@ mail.ru
Николай Д. Лукин [1] vniik@arrisp.ru

[1] Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М.Горбатова» РАН, ул. Некрасова, 11, Красково, 140051, Россия

Аннотация. На основе публикаций последних лет развиваются представления о деформационно-прочностных свойствах мякоти клубней картофеля. Исследование построено на анализе экспериментальных данных по испытаниям на сжатие цилиндрических образцов, вырезанных из мякоти картофельных клубней. Эксперименты проводились с учетом релаксационных свойств мякоти клубней. Диаграммы разрушения цилиндрических образцов путем одноосного сжатия выявили ряд особенностей, которые позволили сформировать представление о деформационно-прочностных свойствах картофельной мякоти с учетом степени ее вялости. Дополнительную информацию дают эксперименты с промежуточными разгрузками, которые начинают с величины напряжения σ>0,1 МПа. Сравнение их графиков с начальной частью диаграммы показывает отсутствие неупругих деформаций в пределах напряжений в образцах от нуля до значений, близких 0,1 МПа. Напряжения σ>0,1 МПа приводят к образованию неупругих деформаций в образцах, что заставляет отказаться в формуле Гука от использования понятия модуля Юнга, описывающего лишь упругое деформирование. Вместо него предложено ввести более общее понятие модуля жесткости. Исходя из анализа разработанных ранее критериев жесткости клубней различной вялости выбраны два основных, что связано с простотой получения данных для их расчета и чувствительностью к изменению вялости клубней.

Ключевые слова: картофель; клубень; физико-механические свойства; образцы; напряжения; деформации; диаграмма сжатия; модуль жесткости; критерии жесткости

The development of the notions of deformation and strength properties of potato tubers flesh

Valery G. Zhukov [1] z-v-gr@ mail.ru
Nikolay D. Lukin [1] vniik@arrisp.ru

[1] All-Russian research Institute for starch products – the branch of Federal research center of food systems of V.M. Gorbatov RAS, Nekrasova str., 11, Kraskovo, 140051, Russia

Abstract. On the basis of publications in recent years, ideas about the deformation and strength properties of the flesh of potato tubers are being developed. The study is based on the analysis of experimental data on compression tests of cylindrical specimens cut from the flesh of potato tubers. The experiments were carried out taking into account the relaxation properties of the flesh. The diagrams of destruction of cylindrical samples by uniaxial compression revealed a number of features that made it possible to form an idea of the deformation-strength properties of potato pulp, taking into account the degree of its lethargy. Additional information is provided by experiments with intermediate unloadings, which start with σ> 0.1 MPa. A comparison of their graphs with the initial part of the diagram shows the absence of inelastic deformations within the limits of stresses in the samples from zero to values close to 0.1 MPa. Stresses σ> 0.1 MPa lead to the formation of inelastic deformations in the samples, which makes it necessary in the Hooke formula to abandon the use of the concept of a Young's modulus, which describes only elastic deformation. Instead of the Young's modulus, it was proposed to introduce a more general concept of the modulus of rigidity. Based on the analysis of the previously developed criteria for the rigidity of tubers of various flaccidity, two main ones were selected, which is associated with the simplicity of obtaining data for their calculation and sensitivity to changes in the flaccidity of tubers.

Keywords: potato; tuber; physical and mechanical properties; samples; stresses; strains; compression diagram; modulus of rigidity; rigidity criteria

Введение

Механическая переработка растительного сырья происходит с большими затратами энергии. В полной мере это относится к переработке картофеля, существенная часть урожаев которого идет на истирание для последующего получения крахмала [1]. Поэтому параметры деформационно-механических характеристик картофеля должны входить в расчетные формулы разрабатываемых технологических машин и аппаратов и рациональных процессов,

Для цитирования
Жуков В.Г., Лукин Н.Д., Развитие представлений о деформационно-прочностных свойствах мякоти картофельных клубней // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 247–253. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-247-253

For citation
Zhukov V.G., Lukin N.D. The development of the notions of deformation and strength properties of potato tubers flesh. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 247–253. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-247-253

определяющих их работу. Вместе с тем отсутствуют устоявшиеся представления о функциональной связи между деформационными и прочностными характеристиками картофельных клубней, количественном влиянии на изменения деформационных свойств в процессе хранения картофеля, формализации этого влияния в виде количественного параметра, который мог бы входить в расчетные формулы.

Важные и объективные результаты по механическим характеристикам получают в испытаниях при одноосном сжатии цилиндрических образцов, что в РФ и за рубежом является обязательным для конструкционных материалов [2]. Такие же исследования выполнялись и для растительных материалов, включая картофель [3,4]. Современные испытания обычно проводят в машинах с автоматическим непрерывным нагружением и, как правило, со свежими, жесткими клубнями. В результате получают диаграммы, малочувствительные к побочным, но важным для механической переработки картофеля эффектам. К ним относятся релаксация напряжений в процессе испытаний [5], смена характера деформаций по мере их роста, отражающаяся в S-образном виде диаграмм [6], и другие особенности, обусловленные влиянием вялости клубней, усиливающейся в процессе хранения [7]. Вследствие новизны работ в них дается фрагментарная и разобщенная трактовка обнаруживаемых эффектов.

Цель работы – обобщение выявленных новых особенностей и развитие представлений о деформационно-прочностных свойствах мякоти картофельных клубней, различающейся по степени жесткости.

Материалы и методы

Исследования деформационно-прочностных свойств проводили в условиях одноосного сжатия цилиндрических образцов картофеля, имевших начальную длину l_0 и площадь круглого поперечного сечения A_0. При этом фиксировали изменение их длины l в виде укорочения (абсолютная деформация) $\Delta l = l - l_0$ (мм) в зависимости от усилия сжатия F (Н). Полученные экспериментальные величины пересчитывали в напряжение сжатия образца в виде осевой силы, отнесенной к его начальной площади $\sigma = F / A_0$ (МПа), и соответствующую ему относительную деформацию ε (в дальнейшем – деформация) в виде отношения величины абсолютной деформации к начальной длине образца $\varepsilon = \Delta l / l_0$ (б/р).

Лабораторная установка позволяла определять усилие сжатия F образца по величине прогиба свободного конца консольно-закрепленной упругой пластины. Изменение нагрузки обеспечивали через механическую винтовую передачу механическим поворотом маховика, позволяющую делать промежуточные остановки в нагружении и полные промежуточные разгрузки со следующими за ними догружениями. Усилие сжатия постепенно увеличивали с периодическими 30-секундными перерывами на время основной релаксации напряжений в образце. Величину усилия сжатия F образца определяли по тарировочному графику без учета той части общего усилия, которое требовалось на прогиб пластины. Величину прогиба упругого элемента фиксировали с помощью индикатора часового типа. Деформацию образца измеряли по изменению расстояния между сжимающими его подвижными основаниями.

Испытанию подвергали цилиндрические образцы диаметром d_0 = 14 мм. Величина диаметра обеспечивала возможность разрушения образца на лабораторной установке. Высоту l_0 образца экспериментально подбирали наибольшей при условии обеспечения нагружения без его перекосов и изгиба, т. е. без потери устойчивости. Она составила 25 мм.

Результаты и обсуждение

С самого начала было выявлено падение сжимающего усилия во время остановки нагружения для проведения промежуточных замеров величин усилия и деформации. Это показало наличие релаксационного эффекта, свойственного мякоти образцов картофельных клубней при ее деформации, что заставляет исследователей указывать в аналогичных испытаниях скорость непрерывного нагружения в автоматическом режиме [8]. В этой связи дальнейшие замеры проводились с 30-секундными остановками при последовательном нагружении образцов. Во время остановок скорость падения усилия снижалась от интенсивной до малосущественной. При 30-секундной остановке величина падения усилия составляла 4–12% [5]. Также была отмечена особенность формы диаграмм в начале нагружения. От нуля и до напряжения, близкого к $\sigma \approx 0{,}1$ МПа, происходит существенный рост деформации образца при незначительном росте нагрузки, т. е. образец проявляет высокую податливость (рисунок 1).

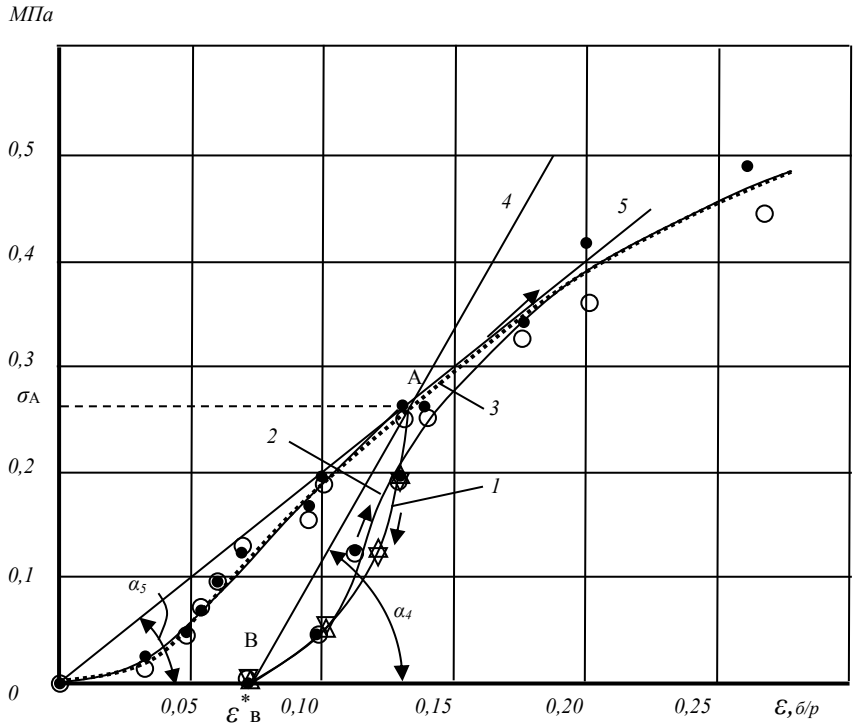


Рисунок 1. Характерная диаграмма сжатия образца клубня с однократным промежуточным разгружением и последующим догружением: точки – стадия нагружения; окружности – после релаксации в стадии нагружения; треугольники вершиной вниз – стадия разгружения; треугольники вершиной вверх – стадия догружения; 1 и 2 – промежуточная разгрузка и повторное нагружение соответственно; 3 – пунктирная S-образная диаграмма без учета промежуточной разгрузки; 4 – прямая, соответствующая промежуточной разгрузке ВА; 5 – прямая ОА, соответствующая начальной деформации образца; σ_A – напряжение, с которого началась промежуточная разгрузка; ε_B – остаточная деформация после промежуточной разгрузки; α_4 – угол наклона прямой 4; α_5 – угол наклона прямой 5

Figure 1. Characteristic diagram of the compression sample of the tuber with a single unloading and subsequent re-loading: points – the stage of loading; circles – after relaxation, under loading; the triangles top down – stage of unloading; the triangles top-up – re-loading stage; 1 and 2 – intermediate unloading and re-loading, respectively; 3 – dotted S-shaped figure without taking into account intermediate unloading; 4 – straightened line corresponding to the intermediate unloading VA; 5 – straightened line OA corresponding to the initial deformation of the sample; σ_A tension, which began with intermediate unloading; ε_B is the residual deformation after intermediate unloading; α_4 – the angle of slope of the straight 4; α_5 is the slope of the straight 5

При этом к моменту достижения напряжений $\sigma \approx 0{,}1$ МПа отмечается явное увеличение деформации образцов с увеличением степени вялости их мякоти [6]. При дальнейшем увеличении напряжения ($\sigma > 0{,}1$ МПа) угол наклона диаграммы к оси абсцисс, характеризующий жесткость образцов, существенно возрастал. Таким образом, напряжение $\sigma \approx 0{,}1$ МПа оказалось характерным для образцов из клубней различающейся вялости, и потому оно принято в качестве рубежного.

Криволинейность полной диаграммы, казавшаяся в начальных экспериментах со свежим картофелем незначительной и не всегда отчетливо проявлявшаяся при $\sigma > 0{,}1$ МПа, оказалась весьма важной для понимания характера деформаций в процессе нагружения образцов. Дальнейшие эксперименты показали, что ее вид, близкий к прямолинейному, даже включая начальный участок нагружения, свойственен для жестких (свежих) картофельных клубней. Для вялых клубней форма диаграммы отчетливо становилась S-образной [6], и ее кривизна увеличивалась с усилением вялости клубней.

Особенностью деформационных свойств образцов оказалось сочетание больших деформаций к моменту разрушения, близких к 0,3, и само разрушение по плоскости, наклоненной под углом 45° к оси образца. Такие большие деформации характерны для пластичных материалов, а такое разрушение указывает на разрушение по плоскости действия наибольших касательных напряжений, т. е. как хрупкое. К хрупким конструкционным материалам условно относят те, которые имеют малые остаточные деформации до 6%. Эта парадоксальность объясняется клеточным строением растительных материалов,

имеющих большое количество внутриклеточной жидкости [6]. Вслед за зоной упругой деформации, завершающейся в области значений напряжений $\sigma \approx 0{,}1$ МПа, начинается разрушение отдельных клеток, которое постепенно перерастает в преимущественное слияние смежных разрушенных клеток, что приводит к интенсивному росту деформаций. Происходит постепенное разрушение первоначальной структуры материала, что нехарактерно для пластичных материалов, сохраняющих свою структуру до полного разрушения образца. А хрупкий вид разрушения свидетельствует о том, что целостность формы образцов с конечной малосущественной бочкообразностью сохраняется оставшимися пока неразрушенными клетками вплоть до разрыва, т. е. как у хрупкого материала.

Анализ диаграмм указывает на то, что клеточная структура материала образца, вырезанного из клубня картофеля, разрушается, сохраняя подобно пластичному материалу большую остаточную деформацию, близкую к значению 0,3, но является хрупкой, поскольку разрушение происходит по плоскости, наклоненной под углом 45° к продольной оси образца. В этой связи диаграмма показывает гибридный деформационно-прочностной тип разрушения клеточной структуры мякоти клубня.

S-образную диаграмму исследователи получали и ранее [9]. Однако в обсуждениях формально ее не отмечали и не увязывали с особенностями происходящих внутренних процессов на уровне клеточного строения мякоти. То же относится к известному факту появления значительных остаточных, т. е. неупругих, деформаций при снятии нагрузки задолго до разрушения образца. Однако оба этих фактора влияют на возможность использования формулы Гука в традиционном виде входящих в нее обозначений в качестве расчетной формулы для растительных, т. е. имеющих клеточную структуру, материалов:

$$\sigma = E\varepsilon, \qquad (1)$$

где E – коэффициент, имеющий название модуля продольной упругости, или модуля Юнга.

Так, в публикациях по исследованию механических свойств растительных материалов коэффициент, обозначаемый в формуле Гука (1) буквой E, определяют по тангенсу угла наклона прямолинейной или условно спрямленной (идеализированной) диаграммы, соединяющей начало координат с точкой разрушения образца, и называют модулем Юнга [4, 10, 11]. При этом не учитывается существование в зонах его определения неупругих деформаций, хотя по своему физическому назначению он должен отражать поведение материала только в упругой области. Наличие остаточных деформаций в зонах определения модуля для растительных материалов не вызывало вопросов к обоснованности использования термина «модуль Юнга».

Остаточные деформации выявлялись, начиная с напряжения $\sigma \approx 0{,}1$ МПа. Для фиксации неупругих деформаций в процессе нагружения образцов эксперименты выполнялись в зоне $\sigma > 0{,}1$ МПа с промежуточными разгрузками и следующими сразу за ними повторными догружениями [6]. В течение нагружения производились от одной до трех таких промежуточных разгрузок и догрузок. После каждой разгрузки отмечалось наличие существенной остаточной, т. е. неупругой, деформации. На рисунке 1 она обозначена символом ε^*_B. Значит, модуль, определяемый по тангенсу угла наклона прямолинейной диаграммы или ее идеализированных прямых на участках, где в образце возникают напряжения $\sigma > 0{,}1$ МПа, не может называться модулем Юнга и должен носить иное название, например, деформационно-прочностной модуль, или модуль жесткости, и другое обозначение, например, Z. Тогда формула, аналогичная формуле Гука (1), будет иметь вид:

$$\sigma = Z\varepsilon, \qquad (2)$$

где Z – выполняет ту же функцию коэффициента пропорциональности, что и E.

Кривизна линии промежуточной разгрузки напоминает кривизну диаграммы в начале нагружения. Однако прямая ВА (прямая 4 на рис. 1), относящаяся к периоду промежуточной разгрузки и соответствующая только упругим деформациям, имеет больший угол наклона $\alpha 4$ к оси абсцисс, чем прямая ОА, относящаяся к начальному этапу нагружения и наклоненная под углом α_5 (прямая 5 на рис. 1). Значит, в начальный период нагружения к упругой деформации добавляется неупругая, увеличивая общую деформацию и уменьшая α_5. Это наблюдение практически подтверждает введенный как гипотеза в работе [8] аналогичный вывод.

Для образцов, вырезанных из мякоти клубней различающейся вялости, модуль Z окажется различным. Это требует учета зоны диаграммы, для которой он был получен при его использовании непосредственно в общих формулах расчета оборудования механической переработки картофеля. Нужны дополнительные показатели, учитывающие и степень вялости клубня, и зону, для которой показатель вычисляется по (2).

Кривизна диаграммы промежуточных разгрузок свидетельствует о сложном механизме деформации материала, а практическое совпадение кривых разгрузки и следующего непосредственно за ней нагружения указывает на отсутствие в этих процессах неупругой составляющей деформации. Значит, деформация образца в промежуточных разгрузках является упругой, хотя ее диаграмма имеет криволинейный вид, аналогичный начальной и примыкающей к ней зоне диаграммы нагружения. Это подтверждает наличие и рост упругих деформаций даже в зонах начального появления и роста неупругой деформации. Промежуточные разгрузки показали наличие остаточных деформаций в образце, что обязывает ввести в линейную зависимость Гука модуль жесткости Z вместо модуля Юнга, используемого для характеристики только упругих свойств материалов.

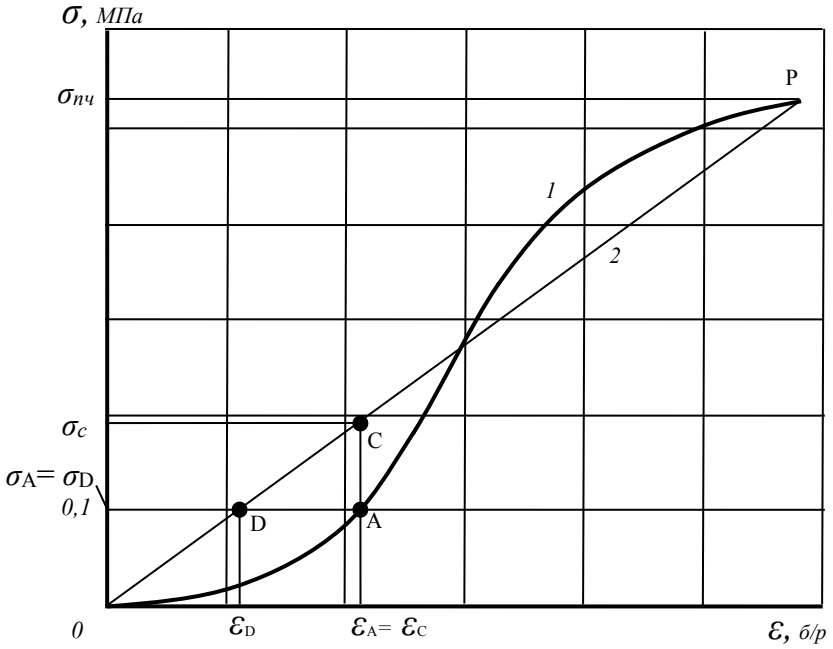


Рисунок 2. Диаграммы образцов: линия 1 – S-образная диаграмма исследуемого вялого клубня; линия 2 – прямолинейная идеализированная диаграмма, характерная для жесткого клубня; ε_A – деформация образца из вялого клубня; σ_C и ε_C, ε_D – напряжение и деформации по идеализированной диаграмме образца, соответствующего жесткому клубню; $\sigma_A = \sigma_D = 0{,}1$ МПа – напряжение в вялом и идеализированном жестком образцах соответственно; $\sigma_{пч}$ – предел прочности материала образца; P – точка разрушения образца

Figure 2. Chart samples: line 1 – S shaped graph of the studied sluggish tuber; line 2 idealized straight-line diagram, typical for a hard tuber; ε_A – deformation of a sample from a sluggish tuber; σ_C and ε_C, ε_D – stress and deformation in the idealized diagram of the sample corresponding to the hard tuber; $\sigma_A = \sigma_D = 0.1$ MPa, the stress in idealized sluggish and hard samples, respectively; $\sigma_{пч}$ – tensile strength of the sample material; P – the point of destruction of the sample

Выявление в S-образном виде диаграммы зон, отражающих при нагружении характерные особенности постепенных разрушений в образце, позволило сформировать критерии оценки степени жесткости клубней (рисунок 2) [7]. Они сформированы таким образом, что пределы их изменения лежат в диапазоне от нуля до единицы и вычисляются по экспериментальным табличным данным или значениям, составляющим критерии показателей на диаграмме разрушения. Их назначение состоит в том, что они должны входить в виде сомножителя в формулы расчета оборудования механической переработки, например, терки для истирания картофеля в крахмалопаточном производстве. Они дают возможность учитывать для каждой зоны диаграммы вялость клубней в формулах механического расчета оборудования. Каждый критерий отражает определенную особенность диаграммы и свойств мякоти картофеля и может быть получен в виде числа, предназначенного для включения его в расчетные формулы технологического оборудования и осуществляемых в нем процессов.

Из рассмотренных в [7] трех типов критериев к наиболее универсальным и информативным следует отнести k_1 и k_2, что объясняется простотой получения данных для их расчета и чувствительностью к изменению вялости клубней.

Критерий k_1 основан на различии деформации образцов в начальной стадии нагружения, когда напряжение в них достигает σ = 0,1 МПа (рисунок 2):

$$k_1 = \frac{\varepsilon_D}{\varepsilon_A} \qquad (3)$$

Критерий по (3) представляет собой отношение деформации ε_D по идеализированной прямолинейной диаграмме к деформации ε_A образца по диаграмме исследуемого вялого клубня.

Критерий k_2 основан на различии напряжений по диаграмме образца из вялого клубня и идеализированного жесткого в тот момент, когда в исследуемом вялом образце напряжение достигает σ_B = 0,1 МПа:

$$k_2 = \frac{\sigma_A}{\sigma_C}. \qquad (4)$$

Критерий представляет собой отношение напряжения σ_A = 0,1 МПа в исследуемом образце к напряжению σ_C по идеализированной прямолинейной диаграмме при той же деформации. Оба напряжения соответствуют равной деформации $\varepsilon_A = \varepsilon_C$.

Чем меньше соотношения (3) и (4), тем более вялым был исследуемый клубень. Параметры в числителях и знаменателях формул (3) и (4) определяются непосредственно из экспериментально полученных диаграмм (рисунок 2) или по таблицам, как это принято для конструкционных материалов. Эти параметры интенсивно меняются с ростом вялости картофельных клубней и отражают начальный этап деформирования, в значительной мере определяющий эффективность работы любого механического измельчителя. Их универсальность и информативность связаны, например, с тем, что знание величин k_1 или k_2, выражающих количественно степень жесткости картофеля, позволит заранее назначать величину необходимого перемещения истирающего инструмента или давления в загрузочной массе, подводимой к истирающему инструменту. Без этого учета измельчение может оказаться замедленным и неполным, работа оборудования неэффективной при значительной деформации вялого клубня до начала интенсивного разрушения его клеток.

Заключение

Релаксационный эффект свидетельствует о сложном механизме деформаций, и S-образный вид диаграммы раскрывает их внутренний механизм с учетом клеточного строения мякоти картофельного клубня.

Практическое совпадение кривых промежуточной разгрузки и следующего непосредственно за ней догружения экспериментально подтверждает отсутствие в этом процессе неупругих деформаций в материале образца.

Сравнение углов наклона линейных приближений кривой начального участка диаграммы с кривой промежуточной разгрузки, начинающейся с напряжений σ > 0,1 МПа, экспериментально подтверждает наличие в образце при таких напряжениях неупругих деформаций. Это заставляет отказаться в формуле Гука от использования понятия модуля Юнга, описывающего лишь упругое деформирование. Вместо него предложено ввести более общее понятие модуля жесткости, который должен использоваться в расчетных формулах процессов и оборудования.

Анализ зон S-образной диаграммы, отражающих при нагружении характерные особенности постепенных упругих деформаций и разрушений в образце, позволяет в разработанных ранее критериях оценки степени жесткости клубней выделить наиболее универсальные и информативные, к ним следует отнести k_1 и k_2, что объясняется простотой получения данных для их расчета и чувствительностью к изменению вялости клубней.

ЛИТЕРАТУРА

1 Андреев Н.Р., Лукин Д.Н. Производство крахмала и крахмалопродуктов для импортозамещения // Пищевая промышленность. 2014. № 12. С. 34–36.

2 Beer F.P., Johnston E.R., Dewolf Jr.J.T., Mazurek D.F. Mecanics of Materials. Sixth edition. New York: McGrau Hill, 2012. 758 p.

3 Abd el-Maksoud M.A., Gamea G.R., Abd el-Gawad A.M. Rheological constants of the four elements burgers model for potato tubers affected by various fixed loads under different storage conditions // Misr journal of agricultural engineering. 2009. V.26. № 1. P. 359–384.

4 Саврасова Н.Р. Результаты экспериментального определения модуля упругости и предела прочности мякоти клубня картофеля // Вестник ЧГАА. 2012. Т. 60. С. 80–82.

5 Жуков В.Г., Андреев Н.Р., Безруков Д.В. Релаксационный эффект при испытании картофельных образцов сжатием // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 11. С. 121–122.

6 Жуков В.Г., Андреев Н.Р., Лукин Д.Н. Механизм деформации сжатием цилиндрического образца из картофельного клубня // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 6. С. 80–83.

7 Жуков В.Г., Андреев Н.Р., Бакулин В.А. и др. Три типа количественных показателей степени жесткости картофельного клубня // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 10. С. 85–88.

8 Bentini, M., Caprara, C., Martelli, R. Physico-mechanical properties of potato tubers during cold storage // Biosystems Engineering. 2009. V. 104. P. 25–32.

9 Miruna L. Mechanical properties affecting slicing performance of potatoes. Winnipeg, Manitoba: Food Science Departmerit University, 1999. 143 p.

10 Blahovec J., Vlckova M., Paprstein F. Static low-level bruising in pears // Research in Agricultural Engineering. 2002. V.48. № 2. P. 41–46.

11 Bentini M., Caprara C., Martelli R. Evaluation of the physical-mechanical properties of potatoes during conservation // Innovation Technology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food Systems: International Conference. Ragusa, 2008, 7 p.

REFERENCES

1 Andreev N.R., Lukin D.N. Production of starch and starch products for import substitution. *Pishchevaya promyshlennost'*[Food industry]. 2014. no. 12. pp. 34–36. (in Russian)

2 Beer F.P., Johnston E.R., Dewolf Jr.J.T., Mazurek D.F. Mecanics of Materials. Sixth edition. New York, McGrau Hill, 2012. 758 p.

3 Abd el-Maksoud M.A., Gamea G.R., Abd el-Gawad A.M. Rheological constants of the four elements burgers model for potato tubers affected by various fixed loads under different storage conditions. Misr journal of agricultural engineering. 2009. vol. 26. no. 1. pp. 359–384.

4 Savrasova N.R. The results of the experimental determination of the modulus of elasticity and strength of the pulp of potato tuber. *Vestnik ChGAA* [Bulletin of the ChSAA]. 2012. vol. 60. pp. 80–82. (in Russian)

5 Zhukov V.G., Andreev N.R., Bezrukov D.V. Relaxation effect when testing potato samples with compression. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of AICis]. 2016. vol. 30. no. 11. pp.121–122. (in Russian)

6 Zhukov V.G., Andreev N.R., Lukin D.N. The mechanism of compression deformation of a cylindrical sample of potato tuber. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of AICis]. 2017. vol. 31. no. 6. pp.80–83. (in Russian)

7 Zhukov V.G., Andreev N.R., Bakulin V.A. et al. Three types of quantitative indicators of the degree of rigidity of potato tuber. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of AICis]. 2017. vol. 31. no. 10. pp. 85–88. (in Russian)

8 Bentini, M., Caprara, C., Martelli, R. Physico-mechanical properties of potato tubers during cold storage. Biosystems Engineering. 2009. vol.104. pp. 25–32.

9 Miruna L. Mechanical properties affecting slicing performance of potatoes. Winnipeg, Manitoba, Food Science Departmerit University, 1999. 143 p.

10 Blahovec J., Vlckova M., Paprstein F. Static low-level bruising in pears. Research in Agricultural Engineering. 2002. vol. 48. no. 2. pp. 41–46.

11 Bentini M., Caprara C., Martelli R. Evaluation of the physical-mechanical properties of potatoes during conservation. Innovation Technology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food Systems: International Conference. Ragusa, 2008, 7 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Валерий Г. Жуков д.т.н., профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М.Горбатова» РАН, ул. Некрасова, 11, Красково, 140051, Россия, z-v-gr@ mail.ru

Николай Д. Лукин д.т.н., профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М.Горбатова» РАН, ул. Некрасова, 11, Красково, 140051, Россия, vniik@arrisp.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Валерий Г. Жуков написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Николай Д. Лукин обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 02.10.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 14.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Valery G. Zhukov Dr. Sci. (Engin.), professor, All-Russian research Institute for starch products – the branch Federal research center of food systems of V.M. Gorbatov RAS, Nekrasova, 11, Kraskovo, 140051, Russia, z-v-gr@ mail.ru

Nikolay D. Lukin Dr. Sci. (Engin.), professor, All-Russian research Institute for starch products – the branch Federal research center of food systems of V.M. Gorbatov RAS, Nekrasova, 11, Kraskovo, 140051, Russia, vniik@arrisp.ru

CONTRIBUTION

Valery G. Zhukov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Nikolay D. Lukin review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.2.2018

ACCEPTED 11.14.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 664.644.2

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-254-258

Влияние порошка кипрея узколистного на показатели качества пшеничного хлеба

Алексей Г. Беляев [1] 7631pektin@mail.ru
Анна Е. Ковалева [1] a.e.kovaleva@yandex.ru
Эльвира А. Пьяникова [1] alia1969@yandex.ru

[1] Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия

Аннотация. Представлены результаты изучения влияния сухого порошка кипрея узколистного *Chamerion angustifolium* (*L.*) *Holub* на показатели качества пшеничного хлеба, в котором часть пшеничной муки высшего сорта заменялась 3, 5 и 10% порошка. Как показало исследование, внесение добавки порошка кипрея узколистного в разном количестве (3, 5 и 10% от массы пшеничной муки) на стадии приготовления опары оказывает разное влияние на качественные показатели изделий. С увеличением количества вносимого порошка кипрея узколистного изменяются органолептические и физико-химические показатели: цвет изделия меняется от темно-золотистого до темно-коричневого, во вкусе и запахе усиливается наличие добавки, но изделия имеют правильную форму, без подрывов и трещин, эластичный, очень нежный мякиш, с тонкостенной и равномерной пористостью. С увеличением количества вносимой добавки уменьшается пористость, но при этом не достигает нижнего предела стандарта. Кислотность и влажность повышаются, что негативно сказывается на качестве и уменьшении сроков годности готового продукта. Поэтому предлагается использование сухого порошка кипрея узколистного в количестве не более 3% от массы муки. Как показали исследования, в ходе процесса хранения у хлебобулочного изделия с 3%-ой добавкой порошка кипрея узколистного за 72 часа общая деформация мякиша снижается на 32 ед. пенетрометра АП-4/2, в то время как у контрольного образца – на 44 ед. Таким образом, процесс черствения хлеба с добавлением порошка кипрея узколистного идет медленнее, чем у контрольного образца, и рекомендуемые сроки годности готового продукта составляют 72 часа.

Ключевые слова: порошок кипрея узколистного, хлеб пшеничный, органолептические показатели, кислот-ность, пористость, влажность

The influence of fireweed powder on the quality of wheat bread

Alexey G. Belyaev [1] 7631pektin@mail.ru
Anna E. Kovaleva [1] a.e.kovaleva@yandex.ru
Elvira A. Pyanikova [1] alia1969@yandex.ru

[1] South-West state University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040, Russia

Abstract. This paper presents the results of studying the effect of dry-leaved Chamerion angustifolium (L.) Holub dry powder on quality indicators of wheat bread, in which part of the highest-grade wheat flour was replaced by 3, 5 and 10% of powder. The study showed that the addition of narrow-leaved powder in different amounts (3, 5 and 10% by weight of wheat flour) at the stage of cooking, the dough has a different impact on the quality indicators of the products. With the increase in the amount of the infusion of narrow-leaved powder, the organoleptic and physico-chemical indicators change: the color of the product changes from dark golden to dark brown, the presence of the additive increases in taste and smell, but the products have the correct form, without explosions and cracks, elastic, very soft crumb, with a thin-walled and uniform porosity. With an increase in the amount of the added additive, the porosity decreases, but it does not reach the lower limit of the standard. Acidity and humidity increase, which negatively affects the quality and reduced shelf life of the finished product. Therefore, it is proposed to use dry powder of narrow-leaved fireweed in the amounts of not more than 3% by weight of the flour. Studies have shown that during storage at the bakery product with a 3% additive of dry leaf powder for 72 hours, the total crumb strain is reduced by 32 units. AP-4/2 penetrometer, while in the control sample - by 44 units. Thus, the process of staling bread with the addition of narrow-leaved fireweed powder is slower than that of the control sample, and the recommended shelf life of the finished product is 72 hours.

Keywords: narrow-leaved fireweed powder, wheat bread, organoleptic indicators, acidity, porosity, humidity

Введение

На сегодняшний день население проявляет повышенный интерес к химическому составу, пищевой ценности и наличию функциональных ингредиентов в продуктах питания и все чаще сталкивается с проблемой несбалансированного питания за счет потребления очищенных, рафинированных продуктов [1].

На рынке хлебобулочных изделий широко представлена продукция для профилактического и лечебного питания. Такие свойства изделиям придают дополнительные ингредиенты, богатые полезными веществами (аминокислотами, витаминами, микро- и макронутриентами), а также изменения, вносимые в технологию приготовления продукции [2, 3].

Для цитирования

Беляев А.Г., Ковалева А.Е., Пьяникова Э.А. Влияние порошка кипрея узколистного на показатели качества пшеничного хлеба // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 254–258. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-254-258

For citation

Belyaev A.G., Kovaleva A.E., Pyanikova E.A. The influence of fireweed powder on the quality of wheat bread. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 254–258. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-254-258

Отечественный ассортимент специализированных хлебобулочных изделий развивается в направлении использования в рецептурах природных ингредиентов, позволяющих повысить в готовых изделиях содержание биологически активных веществ, которые придают функциональную направленность изделиям [4].

Функциональное питание является частью рациона человека и, как показывает практика, снижает риск развития хронических заболеваний [5].

В настоящее время потребительский рынок хлебобулочных изделий достаточно насыщен и представлен изделиями разнообразной формы и вкусов, но с невысоким содержанием полезных веществ. Ввиду этого одним из перспективных направлений повышения биологической ценности сдобных изделий является расширение ассортимента за счет использования нетрадиционных видов сырья [6]. В нашем случае таким сырьем является порошок кипрея узколистного или иван-чая *Chamerion angustifolium* (*L.*) *Holub*.

Материалы и методы

Для изучения влияния добавления в рецептуру хлебобулочных изделий различного количества порошка кипрея узколистного была произведена органолептическая оценка экспериментальных образцов и анализ физико-химических показателей качества таких, как кислотность, пористость, влажность.

Определение влажности мякиша хлебобулочных изделий проводили путем высушивания навески образца при определенной температуре по ГОСТ 21094–75. Данный показатель был рассчитан по формуле

$$W = \frac{G_1 - G_2}{G_3} \cdot 100,$$

где G_1 и G_2 – масса бюкса с хлебом до и после высушивания, г; G_3 – масса навески изделия, г [7, 8].

Кислотность готовых хлебобулочных изделий определяли по ГОСТ 5670-96 ускоренным методом. В соответствии с методикой проводили два параллельных титрования, расхождение между которыми должно быть не более 0,3 град.

Под градусом кислотности понимают объем в кубических сантиметрах раствора точной молярной концентрации 1 моль/дм^3 гидроокиси натрия или гидроокиси калия, необходимый для нейтрализации кислот, содержащихся в 100 г изделий. Физико-химический показатель был рассчитан по формуле.

Кислотность хлеба (в град.) вычисляют по формуле

$$X = \frac{V \cdot V_1 \cdot a}{10 \cdot m \cdot V_2} \cdot K,$$

где V – объем раствора молярной концентрации 0,1 моль/дм^3 гидроокиси натрия или гидроокиси калия, израсходованного при титровании исследуемого раствора, см^3; V_1 – объем дистиллированной воды, взятой для извлечения кислот из исследуемой продукции, см^3; *a* – коэффициент пересчета на 100 г навески; K – поправочный коэффициент приведения используемого раствора гидроокиси натрия или гидроокиси калия к раствору точной молярной концентрации 0,1 моль/дм^3; 1/10 – коэффициент приведения раствора гидроокиси натрия или гидроокиси калия молярной концентрации 0,1 моль/дм^3; m – масса навески, г; V_2 – объем исследуемого раствора, взятого для титрования, см^3 [9].

Такой показатель, как пористость, характеризует важное свойство изделия – его усвояемость. Под пористостью понимают отношение объема пор мякиша к общему объему хлебного мякиша, выраженного в процентах.

Пористость в процентах определяли по формуле

$$P = \frac{V_{общ} - \frac{m}{\rho}}{V_{общ}} \cdot 100,$$

где $V_{общ}$ – общий объем выемок изделия, см^3; m – масса выемок, г; ρ – плотность беспористой части мякиша.

Результаты и обсуждение

С целью установления оптимальной дозировки порошка кипрея узколистного было исследовано влияние различных его концентраций на качество пшеничного хлеба. Модельные образцы пшеничного хлеба выпекали по традиционной технологии (рисунок 1).

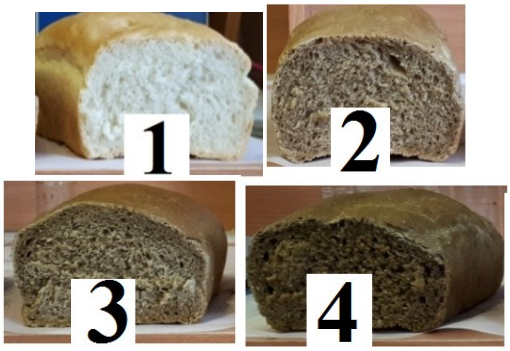


Рисунок 1. Модельные образцы пшеничного хлеба с внесением продуктов кипрея узколистного в разрезе: 1 – контрольный образец; 2 – образец с использованием 3% порошка кипрея узколистного к массе муки; 3 – образец с использованием 5% порошка кипрея к массе муки; 4 – образец с использованием 10% порошка кипрея узколистного

Figure 1. Model samples of wheat bread with the introduction of products of fireweed narrow-leaf in the context of: 1 – reference sample; 2 – sample with using of 3% powder epilobium angustifolium to the weight of flour; 3 – sample with 5% powder of fireweed to the weight of the flour; 4 – sample with 10% powder of epilobium angustifolium

В ходе проведенного исследования органолептических показателей было установлено, что образец № 1, выпеченный по стандартной рецептуре, по всем показателям отвечает требованиям ГОСТ 27842-88.

Внесение порошка кипрея узколистного 3% от массы муки при замесе теста позволяет получить пшеничный хлеб правильной формы с куполообразной коркой темно-золотистого цвета с сероватым оттенком; эластичным, мягким мякишем; с тонкостенными, равномерно распределенными порами, без комочков и следов непромеса; легким вкусом и ароматом кипрея узколистного.

С увеличением количества вносимой добавки порошка кипрея узколистного происходит ухудшение органолептических показателей качества хлеба. Изделие теряет форму, мякиш темнеет, вкус и запах становятся выражено травяными.

Так, при внесении порошка кипрея узколистного в дозировке 5% происходит изменение органолептических показателей. Форма у изделия правильная, без выплывов, с заметно выпуклой коркой; поверхность гладкая с заметными включениями порошка кипрея узколистного. Цвет изделия становится коричневым с зеленоватым оттенком. Пористость однородная и хорошо развитая, мякиш пропеченный и не влажный на ощупь. Во вкусе и запахе образца № 3 появляется травянистый привкус и запах.

Добавление 10% порошка кипрея узколистного приводит к изменению окраски до темно-коричневого цвета, с ярко выраженным вкусом и ароматом внесенной добавки порошка кипрея узколистного.

Проведенный анализ физико-химических показателей модельных образцов пшеничного хлеба с использованием порошка кипрея узколистного позволил получить данные, представленные в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты анализа физико-химических показателей модельных образцов хлеба из муки высшего сорта с использованием порошка кипрея узколистного

Table 1.

The results of the analysis of physical and chemical parameters of model samples of bread from flour using a narrow-leaved boiling powder

Показатели качества Quality indicator	Норма по ГОСТ 27842–88 Norms according to GOST 24557–89	Образец Sample № 1	Образец Sample № 2	Образец Sample № 3	Образец Sample № 4
Влажность, %, не более Humidity, %, not more	44,0	41,6	40,8	43,2	47
Пористость, %, не менее Porosity, %, not less	72,0	81	77	74	74
Кислотность, град., не более Acidity, deg., no more	3,0	1,6	1,6	2,5	3,0

Из полученных в ходе исследования физико-химических показателей данных (таблица 2) видно, что с увеличением дозировки порошка кипрея узколистного влажность изделий начитает увеличиваться. По ГОСТ 27842-88 для формового пшеничного хлеба влажность мякиша должна быть не более 44%, при внесении порошка в количестве 10% массовая доля влаги начинает превышать предельно допустимое значение на 3%. Это ведет к тому, что снижается качество хлеба и срок годности.

Пористость всех образцов хлебобулочных изделий превышает минимальное значение, указанное в ГОСТе, на 2–5%. Это обусловлено укрепляющим действием порошка кипрея узколистного на клейковину. Наличие в фитопорошке ферментов полифенолоксидазы и аскорбиноксидазы способствует укреплению клейковины пшеничной муки. Очевидно, определенную роль в этом также играют соединения белка пшеничной муки с восстанавливающими сахарами фитопорошка. Образование таких комплексных соединений приводит к возникновению углеводных связей-мостиков, упрочняющих структуру белковых веществ клейковины.

У всех модельных образцов пшеничного хлеба показатель кислотности не превышает норму, установленную ГОСТ 27842-88. Кислотность хлебобулочных изделий в основном обусловливается наличием в них продуктов, получаемых в результате спиртового и молочнокислого брожения в тесте. При внесении в рецептуру порошка кипрея узколистного и увеличении его количества увеличивается количество питательных веществ, участвующих в процессе брожения, в связи с этим наблюдается повышение кислотности. И при 10%-ном количестве порошка данный показатель равен предельно допустимому значению (3 град).

Одним из важнейших показателей качества выпеченных изделий является сохранение ими свежести в процессе хранения [11, 12]. Влияние порошка кипрея узколистного на процесс черствения изделий при хранении определяли по изменению структурно-механических свойств мякиша. О свойствах мякиша в процессе хранения судили по показаниям пенетрометра АП-4/2 через 4; 24; 48 и 72 ч в соответствии с определенной методикой [13].

Влияние порошка кипрея узколистного на изменение структурно-механических свойств мякиша хлеба в процессе хранения изделий представлено в таблице 2.

Таблица 2.

Влияние порошка кипрея узколистного на изменение структурно-механических свойств мякиша хлеба в процессе хранения

Table 2.

Effect of boiling narrow-sheet powder to change the structural and mechanical properties of bread crumb during storage

Образец | Sample	Продолжительность хранения, ч Storage time, hours	Показатели структурно-механических свойств Indicators of structural and mechanical properties
		$\Delta H_{общ}$, ед. приб. ΔH_{gen}, un. dev.
Контроль Control	4	96,00
	24	78,00
	48	54,67
	72	52,00
3% кипрея узколистного 3% boiling water of narrow-leaved	4	65,33
	24	49,33
	48	39,00
	72	33,33

Из анализа видно, что за 72 ч общая деформация мякиша контрольного образца снижается на 44 ед. прибора, а с порошком кипрея узколистного на 32, следовательно, процесс черствения хлеба с кипреем узколистным идет медленнее, чем у контрольного образца. Таким образом, рекомендуемые сроки годности 72 ч.

Выводы

В ходе проведенных исследований:

– установлено, что с увеличением количества вносимого порошка кипрея узколистного изменяется цвет изделия от темно-золотистого до темно-коричневого, во вкусе и запахе усиливается присутствие добавки;

– установлено, что с увеличением количества вносимого порошка кипрея узколистного уменьшается пористость, повышается кислотность и влажность, что негативно сказывается на качестве готового продукта;

– выявлено, что оптимальная дозировка порошка кипрея узколистного в рецептуре хлеба пшеничного составляет 3%;

– установлен рекомендуемый срок годности хлеба с добавлением 3% порошка кипрея узколистного, 72 ч.

ЛИТЕРАТУРА

1 Лесникова Н.А. Качество хлеба с использованием физиологически функциональных ингредиентов // Новая индустриализация: мировое, национальное, региональное измерение: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2016. Т. 2. С. 164–168.

2 Якутова И.А. Новые технологии в производстве обогащенных сортов хлеба // Новая индустриализация: мировое, национальное, региональное измеение: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2016. Т. 1. С. 80–83.

3 Mondal A., Datta A.K. Bread baking – a review // Journal of Food Engineering. 2008. V. 86. № 4. P. 465–474.

4 Соловьева Е.А., Сьянов Д.А. Разработка технологии хлебобулочных изделий функционального назначения с использованием нетрадиционного сырья // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 3. С. 104–108.

5 Al-Sheraji S.H., Ismail A., Manap M.Ya., Mustafa Sh. et al. Prebiotics as functional foods: A review // Journal of Functional Foods. 2013. V. 5. № 4. P. 1542–1553. doi: 10.1016/j.jff.2013.08.009

6 Pyanikova E.A., Kovaleva A.E. Sales Management Mechanism and Methodologies for Solving the Problems of Special-Purpose Product Management and Sales // Emerging Issues in the Global Economy: International Economics Conference in Sibiu. 2017. P. 333–340.

7 ГОСТ Р 21094–75. Хлеб и хлебобулочные изделия. Методы определения влажности. Введ. 07.01.1976. М.: Стандартформ, 2006. 4 с.

8 Bottani M., Brasca M., Ferraretto A., Cardone G. et al. Chemical and nutritional properties of white bread leavened by lactic acid bacteria // Journal of Functional Foods. 2018. V. 45. P. 330–338.

9 ГОСТ Р 5670–96. Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности. Введ. 08.01.1997. М.: Стандартформ, 2016. 6 с.

10 ГОСТ 27842–88. Хлеб из пшеничной муки. Технические условия. Введ. 01.01.1990. М.: Стандартформ, 1988. 11 с.

11 Angioloni A., Collar C. Gel, dough and fibre enriched fresh breads: Relationships between quality features and staling kinetics // Journal of Food Engineering. 2009. V. 91. № 4. P. 526–532.

12 Lapcik L., Vasina M., Lapcikova B., Valenta T. Study of bread staling by means of vibro-acoustic, tensile and thermal analysis techniques // Journal of Food Engineering. 2016. V. 178. P. 31–38.

13 Licciardello F., Cipri L., Muratore G. Influence of packaging on the quality maintenance of industrial bread by comparative shelf life testing // Food Packaging and Shelf Life. 2014. V. 1. № 1. P. 19–24.

REFERENCES

1 Lesnikova N.A. Quality of bread using physiologically functional ingredients. Novaya industrializaciya: mirovoe, nacional'noe, regional'noe izmerenie [New industrialization: global, national, regional dimension: materials of the Intern. scientific-practical conf.]. Ekaterinburg, Ural State Economic University, 2016. vol. 2. pp. 164–168. (in Russian)

2 I.A. Yakutova. New technologies in the production of fortified breads. Novaya industrializatsiya: mirovoye, natsional'noye, regional'noye izmeyeniye [New industrialization: global, national, regional change: materials of the Intern. scientific-practical conf.]. Ekaterinburg, Ural State Economic University, 2016. vol. 1. pp. 80–83. (in Russian)

3 Mondal A., Datta A.K. Bread baking – a review. Journal of Food Engineering. 2008. vol. 86. no. 4. pp. 465–474.

4 Solovyova E.A., Syanov D.A. Development of technology for bakery products of functional purpose using non-traditional raw materials. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2017. vol. 79. no. 3. pp. 104–108. (in Russian)

5 Al-Sheraji S.H., Ismail A., Manap M.Ya., Mustafa Sh. et al. Prebiotics as functional foods: A review. Journal of Functional Foods. 2013. vol. 5. no 4. pp. 1542–1553. doi: 10.1016/j.jff.2013.08.009

6 Pyanikova E.A., Kovaleva A.E. Sales Management Mechanism and Methodologies for Solving the Problems of Special-Purpose Product Management and Sales. Emerging Issues in the Global Economy: International Economics Conference in Sibiu. 2017. pp. 333–340.

7 GOST R 21094–75. Khleb i khlebobulochnyye izdeliya. Metody opredeleniya vlazhnosti [State Standard 21094–75. Bread and bakery products. Methods for determining humidity]. Moscow, Standartform, 2006. 4 p. (in Russian)

8 Bottani M., Brasca M., Ferraretto A., Cardone G. et al. Chemical and nutritional properties of white bread leavened by lactic acid bacteria. Journal of Functional Foods. 2018. vol. 45. pp. 330–338.

9 GOST R 5670–96. Khlebobulochnyye izdeliya. Metody opredeleniya kislotnosti [State Standard 5670–96. Bakery products. Methods for determining the acidity]. Moscow, Standartform, 2016. 6 p. (in Russian)

10 GOST 27842–88. Hleb iz pshenichnoj muki. Tekhnicheskie usloviya [State Standard 27842–88. Bread from wheat flour. Technical conditions]. Moscow, Standartform, 1988. 11 p. (in Russian)

11 Angioloni A., Collar C. Gel, dough and fibre enriched fresh breads: Relationships between quality features and staling kinetics. Journal of Food Engineering. 2009. vol. 91. no. 4. pp. 526–532.

12 Lapcik L., Vasina M., Lapcikova B., Valenta T. Study of bread staling by means of vibro-acoustic, tensile and thermal analysis techniques. Journal of Food Engineering. 2016. vol. 178. pp. 31–38.

13 Licciardello F., Cipri L., Muratore G. Influence of packaging on the quality maintenance of industrial bread by comparative shelf life testing. Food Packaging and Shelf Life. 2014. vol. 1. no. 1. pp. 19–24.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алексей Г. Беляев к.б.н., доцент, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров, Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, 7631pektin@mail.ru

Анна Е. Ковалева к.х.н., доцент, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров, Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, a.e.kovaleva@yandex.ru

Эльвира А. Пьяникова к.т.н., доцент, зав. кафедрой, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров, Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, alia1969@yandex.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Алексей Г. Беляев предложил методику проведения эксперимента и организовал производственные испытания

Анна Е. Ковалева обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Эльвира А. Пьяникова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 26.10.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 14.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Alexey G. Belyaev Cand. Sci. (Biol.), associate professor, commodity science, technology and examination of goods department, South-West state University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040, Russia, 7631pektin@mail.ru

Anna E. Kovaleva Cand. Sci. (Chem.), associate professor, commodity science, technology and examination of goods department, South-West state University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040, Russia, a.e.kovaleva@yandex.ru

Elvira A. Pyanikova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, head of department, commodity science, technology and examination of goods department, South-West state University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040, Russia, alia1969@yandex.ru

CONTRIBUTION

Alexey G. Belyaev proposed a methodology for the experiment and organized production tests

Anna E. Kovaleva review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Elvira A. Pyanikova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.26.2018

ACCEPTED 11.14.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 637.455.658

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-259-268

Разработка технологических подходов к получению мясных систем на основе ресурсов кролиководства и растительных композитов

Евгения С. Шенцова [1] evgeniya-shencova@yandex.ru
Александр В. Востроилов [2] alexandervostroilov@yandex.ru
Елена Е. Курчаева [2] alena.kurchaeva@yandex.ru
Игорь В. Максимов [2] maximus880@mail.ru

[1] Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
[2] Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия

Аннотация. Современный этап развития техники и технологий ставит как одну из наиболее актуальных проблему надежности биологических систем, что непосредственно связано со здоровьем человека в современных условиях экологической и социальной напряженности, хронического стресса и других неблагоприятных факторов. Одним из актуальных технологических подходов при производстве продуктов, повышенной пищевой и биологической ценности, является разработка пищевых систем с использованием функциональных композитных смесей на основе растительных ресурсов, содержащих в своем составе необходимые для организма нутриенты. С целью создание композитной смеси обоснован выбор функциональных ингредиентов растительного происхождения: порошка топинамбура, боярышника и муки из биоактивированных проращиванием семян люпина. Подобрано соотношение компонентного состава композитной смеси и фаршевой основы на основе мяса кролика для создания колбасного изделия диетического назначения. Методами математического моделирования обоснована оптимальная дозировка введения композитной смеси в мясную систему, при одновременном улучшении сбалансированности аминокислотного состава. Разработано ветчинно-рубленное колбасное изделие с повышенной пищевой и биологической ценности. По результатам органолептической оценки выявлено улучшение консистенции и цвета колбасного изделия при замене 10% мясного сырья функциональной композитной смесью. Проведенная медико-биологическая оценка на теплокровных животных подтвердила биологическую безопасность разработанного продукта.

Ключевые слова: мясо кролика, функциональная композитная смесь, безопасность, пищевая и биологическая ценность

Development of technological approaches to obtaining meat systems based on rabbit breeding resources and plant composites

Evgenia S. Shentsova [1] evgeniya-shencova@yandex.ru
Alexander V. Vostroilov [2] alexandervostroilov@yandex.ru
Elena E. Kurchaeva [2] alena.kurchaeva@yandex.ru
Igor V. Maksimov [2] maximus880@mail.ru

[1] Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
[2] Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina str., 1, Voronezh, 394087, Russia

Abstract. The modern stage of development of equipment and technologies poses as one of the most urgent problem of reliability of biological systems that is directly connected with human health in modern conditions of ecological and social tension, chronic stress and other adverse factors. One of the relevant technological approaches in the production of products of high nutritional and biological value is the development of food systems using functional composite mixtures based on plant resources and containing in its composition necessary nutrients for the body. With the aim of creating the composite mixture, the choice of the functional plant-based ingredients: powder of Jerusalem artichoke, hawthorn and flour from bioactivating the germination of lupine seeds. The ratio of the component composition of the composite mixture and the minced base on the basis of rabbit meat to create a sausage product for dietary purposes is selected. The optimal dosage of the composite mixture introduction into the meat system, while improving the balance of amino acid composition, is justified by mathematical modeling methods. The ham-chopped sausage product with the increased food and biological value is developed. According to the results of organoleptic evaluation revealed improvement of consistency and color of sausage products when replacing 10% of raw meat functional composite mixture. The conducted medical and biological assessment on warm-blooded animals confirmed the biological safety of the developed product

Keywords: rabbit meat, functional composite mixture, safety, nutritional and biological value

Для цитирования

Шенцова Е.С., Востроилов А.В., Курчаева Е.Е., Максимов И.В. Разработка технологических подходов к получению мясных систем на основе ресурсов кролиководства и растительных композитов // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 259–268. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-259-2681

For citation

Shentsova E.S., Vostrjelov A.V., Kurchaeva E.E., Maksimov I.V. Development of technological approaches to obtaining meat systems based on rabbit breeding resources and plant composites. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 259–268. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-259-268

Введение

В связи с создавшимся дефицитом животного белка потребность в нем населения удовлетворяется за счет других источников. Увеличение потребности в белковых продуктах на перспективу, с одной стороны, и необходимость обеспечения рационального питания – с другой, привело к возникновению и быстрому развитию качественно нового направления в производстве пищи. Оно заключается в получении комбинированных продуктов питания на основе значительных потенциальных ресурсов растительного и животного происхождения, оказывающих положительное влияние на здоровье населения [13].

Согласно статистическим данным у большинства россиян выявляются нарушения питания, обусловленные недостаточным потреблением пищевых волокон, витаминов, минеральных веществ, полноценных белков и их нерациональным соотношением [6, 13].

На данный момент на рынке мясопродуктов представлено недостаточно изделий сбалансированного состава, высокой пищевой и биологической ценности, а также доступной цены для всех категорий потребителей. Одним из путей решения проблемы дефицита белка является применение ресурсов мясного сырья традиционно не используемых при изготовлении продуктов питания, что в настоящее время в связи с ростом потребления мясных продуктов приобретает особую актуальность и позволяет получить высококачественные, безопасные, а в отдельных случаях функциональные продукты питания [15].

Традиционно для выработки реструктурированных мясных изделий используют свинину, реже – мясо курицы или индейки. Однако в настоящее время разрабатываются новые мясные продукты на основе мяса кроликов – колбасные и ветчинные изделия, полуфабрикаты [5, 11, 14]. Реструктурированные ветчинные изделия одни из популярных мясопродуктов, при этом они обладают высокой пищевой ценностью, приятным вкусом и ароматом.

В настоящее время большое внимание уделяется разработке функциональных добавок пребиотической направленности на основе растительных композитов, богатых физиологически активными ингредиентами, такими, как пищевые волокна. В этом аспекте особое внимание уделяется продуктам переработки топинамбура, в частности, порошкообразным полуфабрикатам, характеризующимся высокими функционально-технологическими свойствами, такими, как влагосвязывающая и водоудерживающая способность. Но следует отметить, что максимально технологические свойства порошкообразных полуфабрикатов топинамбура проявляют себя в комплексных смесях с белковыми составляющими, в том числе полученными и на основе растительного сырья [13].

Цель работы – разработка технологических подходов к производству обогащенных мясных изделий на основе мяса кролика с использованием биокомпозитов растительного происхождения.

В условиях повышенных нагрузок роль питания в здоровье человека неоценима. На современном этапе традиционные продукты питания не в состоянии обеспечить организм рекомендуемыми нормами потребления незаменимых пищевых веществ, в частности, витаминами, макро-, микроэлементами и многими другими полезными компонентами пищи.

Особый интерес представляет использование в составе функциональных смесей клубней топинамбура или продуктов его переработки – ценных ингредиентов, рекомендуемых для больных сахарным диабетом, которые могли бы быть источниками ценных физиологически активных веществ, а также органических и минеральных комплексов. В этой связи актуальной и целесообразной является разработка композитных функциональных смесей на основе растительного сырья с направленным благоприятным воздействием на организм человека.

Топинамбур (земляная груша) богат углеводами, в его состав входит около 77% фруктозосодержащего полисахарида – инулина. Этот полисахарид не вызывает напряжения функции поджелудочной железы, поэтому может включаться в рацион питания людей, больных диабетом или находящихся в группе риска по этому заболеванию. Топинамбур обладает выраженными антиоксидантными свойствами, предотвращая процессы перекисного окисления и защищая тем самым биологические мембраны клеток организма от воздействия активных радикалов [13].

Экспериментальные исследования проводили в условиях кафедры частной зоотехнии Воронежского ГАУ, испытательной лаборатории АНО «НТЦ» «Комбикорм» и ЦКП "Контроль и управление энергоэффективными проектами" ФГБОУ ВО "ВГУИТ".

В качестве основного сырья использовали мясо птицы бедренной части, мясо кроликов ручной обвалки, свинину полужирную.

Для создания композитной смеси функциональной направленности использовали порошкообразный полуфабрикат топинамбура,

обогащенный инулином (ТУ 9164-001-97357430-09, ООО «Рязанские просторы», г. Москва), порошок из плодов боярышника (ТУ 9163–060–0268315–07) и муку из пророщенных семян люпина, полученную в лабораторных условиях. Полученную композитную смесь вносили на стадии фаршесоставления в гидратированном виде (1:3) в оптимально подобранной дозировке (10%) от массы основного мясного сырья. Контрольным образцом являлась базовая рецептура ветчины из мяса птицы (ТУ 10.02.01.77). Химический состав опытных образцов, органолептические, физико-химические и функционально-технологические свойства определяли общепринятыми методами в соответствии с рекомендациями [1].

Определение аминокислотного состава мяса кролика и разработанного колбасного изделия проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на аминокислотном анализаторе в соответствии с инструкцией к прибору в условиях ЦКП «Контроль и управление энергоэффективными проектами» ФГБОУ ВО «ВГУИТ».

Одним из компонентов композитной смеси является порошок боярышника, обладающий высокой пищевой ценностью, гармоничным вкусом и цветом за счет присутствия растворимых сухих веществ (сахаров, органических кислот, дубильных и красящих веществ и др.) (таблица 1).

Пищевые вещества, содержащиеся в порошке боярышника, необходимы организму как строительный материал для восстановления и построения новых тканей, а также в качестве энергетического материала, поддерживающего и сохраняющего теплоту нашего тела и превращающего тепловую энергию в механическую работу, в том числе и в работу внутренних органов. Соли, органические кислоты, ароматические и вкусовые вещества данного вида сырья усиливают выделение пищеварительных соков, а клетчатка улучшает перистальтику кишечника [12].

Таблица 1.

Показатели качества порошка из плодов боярышника

Table 1.

Quality indicators of hawthorn fruit powder

Наименование показателя | Index	Характеристика | Characteristic
Внешний вид и консистенция | Appearance and consistency	Однородная, порошкообразная сыпучая масса без комочков | Homogeneous, powdery bulk without lumps
Цвет | Color	Песочно-кирпичного цвета с единичными коричневыми включениями | Sand-brick color with single brown inclusions
Вкус и запах | Taste and smell	Свойственный данному виду плодов, натуральный, сладковатый | Characteristic of this type of fruit, natural, sweet
Массовая доля сухих веществ, % | Mass fraction of dry substances, %	93,0 ± 1,35
Массовая доля золы, % | Mass fraction of ash, %	2,5 ± 0,11
Массовая доля общих сахаров, % | Mass fraction of total sugars, %	25,3 ± 1,12
Общая кислотность (по яблочной кислоте), % | Total acidity (malic acid), %	2,1 ± 0,08
Массовая доля клетчатки, % | Fiber mass fraction, %	11,76 ± 0,48
Содержание Р-активных веществ, мг / 100 г | Content of P-active substances, mg / 100 g	6100,0 ± 135,5
Массовая доля пектиновых веществ, % | Mass fraction of pectin, %	6,07 ± 0,30
Витамин С, мг / 100 г | Vitamin C, mg / 100 g	6,1 ± 0,21
Витамин Е, мг / 100 г | Vitamin E, mg / 100 g	4,92 ± 0,12
β – Каротин, мг / 100 г | β-Carotene, mg / 100 g	12,0 ± 0,32

Вторым по значимости компонентов функциональной композитной смеси являются пророщенные формы семян люпина, которые находят широкое применение в различных отраслях пищевой индустрии как перспективный источник для обогащения пищевых систем, в том числе и на мясной основе. Рядом исследователей установлена положительная роль проращивания для балансирования аминокислотного и витаминного состава семян бобовых при одновременном снижении антипитательных факторов (олигосахаридов, таких, как стахиоза, раффиноза и вербаскоза) [2, 3].

Нами в работе использована мука из пророщенных семян люпина, полученная путем сушки и измельчения биоактивированных семян

в качестве белково-углеводной составляющей композитной смеси. Активацию семян проводили в водном растворе сухой подсырной сыворотки до появления ростков 2,5–3,0 см в течение 3 сут в оптимальном режиме (12–15 °С). В процессе проращивания семян люпина установлено достоверное снижение крахмала с 27,42 до 20,10%, при одновременном увеличении белка с 33,37 до 35,43% и повышении их биологической ценности за счет улучшения сбалансированности общего состава аминокислот при росте доли важнейших для технологии пищевых продуктов и питания человека – лизина и триптофана.

В современном обществе в последнее время становятся актуальными вопросы, касающиеся не только нехватки в рационе населения пищевого белка, также проблемы нерационального питания, недостаточного поступления с пищей в организм человека витаминов и минеральных веществ, ожирение, что становится причиной ухудшения здоровья детей и взрослых. Все перечисленные факторы обращают внимание потребителей и производителей на мясопродукты диетического назначения [16].

Приоритетный национальный проект «Развитие АПК на 2013–2020 гг.» ориентирован, прежде всего, на развитие птицеводства, свиноводства и скотоводства. В связи со сложной ситуацией в АПК России и Центрально-Черноземной зоне в частности, возникшей в свиноводстве из-за угрозы возникновения АЧС, значительно возрастает интерес к альтернативной отрасли животноводства – кролиководству, развитие которой поддерживается и администрацией Воронежской области.

В отличие от мирового промышленного кролиководства кролиководство России все еще остается любительским и направлено на удовлетворение личных потребностей населения в продуктах питания. Практически 99% поголовья кроликов сосредоточено в личных подсобных хозяйствах, где их выращивают по старинке, без применения современных технологий содержания и кормления, что не позволяет надеяться на существенный рост поголовья этих животных и насыщение рынка данным видом мяса [5, 15].

На сегодняшний день мясо кролика в несколько раз дороже мяса мелкого и крупного рогатого скота, что связано с низким уровнем промышленного производства. В то же время параметры кролиководства таковы, что при значительном увеличении поголовья кроликов себестоимость мяса вполне может быть сравнима с себестоимостью традиционных видов сырья, данная отрасль способна быстро наращивать объемы конечной продукции. Кролиководство отличается низкими затратами на рабочую силу, меньшей производственной площадью, дешевыми доступными кормами. Стоит отметить, что одной из причин низкого уровня производства продуктов из мяса кроликов является специфичность первичной обработки сырья и отсутствие научно обоснованных технологий получения наиболее разнообразного ассортимента продуктов питания.

В связи с этим с целью увеличения объемов производства высококачественных сбалансированных мясных продуктов, расширения ассортимента диетических продуктов функционального назначения необходимо использовать новые источники нетрадиционного сырья, отвечающего всем требованиям. Одним из таких перспективных направлений является использование мяса кролика.

Мясо кролика обладает высокими вкусовыми и питательными свойствами, оно легко переваривается и усваивается организмом человека. По содержанию азотисных веществ мясо кроликов близко к мясу цыпленка, а по количеству жира и калорийности превосходит его, поэтому мясо кролика отлично подходит для лечебного питания, а также для людей с высокой физической нагрузкой, белок мяса кролика усваивается на 95% [9, 11, 14].

Химический состав и энергетическая ценность мяса кроликов в значительной степени зависят от возраста животных, породы, режима откорма. С возрастом в мясе кроликов происходит снижение содержания воды и увеличение белка и жира. При этом энергетическая ценность мяса возрастает [9].

Крольчатина отличается большим содержанием белка – около 20%, усвояемость которого составляет 96%, на жир приходится 6–8%, а также содержит минимальное количество азотистых соединений и пуриновых оснований. Его высокая биологическая и пищевая ценность связана с содержанием широкого набора витаминов и минеральных веществ, на которые в мышечной ткани приходится 1,0–1,5% [9, 11, 14].

Благодаря низкому содержанию холестерина диетологи во многие диеты рекомендуют включать крольчатину. Мясо кролика относится к белому мясу, которое является источником полноценного белка, по содержанию витаминов группы В, РР, А, никотиновой и аскорбиновой кислот, минералов (железо, кобальт, фтор, калий, марганец) опережает все другие виды мяса (свинина, говядина, баранина, телятина) [9, 14].

Биологическая ценность белков мяса кролика характеризуется содержанием всех незаменимых аминокислот, г / 100 г белка: валин – 1,035, изолейцин – 0,782, лейцин – 1,478, лизин – 1,589, метионин + цистин – 0, 445, треонин – 0,913, триптофан – 0,327, фенилаланин – 0,795.

Основной задачей, стоящей перед технологами, создающими функциональными продукты, в том числе обогащенные биополимерами с повышенным содержанием пищевых волокон, является балансирование между удовлетворением потребностей организма в необходимых нутриентах и сохранением традиционного качества обогащенного продукта. На сегодняшний день потребность в композитных смесях, включающих пищевые волокна, выходит на первое место, т.к. это один из востребованных и широко применяемых в пищевой индустрии ингредиентов благодаря их высокой функциональности.

На практике создание обогащенных мясных продуктов сопряжено с проблемами, обусловленными существенным различием состава и свойств компонентов композитной смеси или составной функциональной композиции, при этом главную роль играют входящие в состав полисахариды [4, 6, 10].

Научное обоснование применения функциональных композитных смесей в технологии сектора мясных продуктов функциональной направленности базируется на проведении комплексной оценки их эффективности, предусматривающей анализ структуры и свойств входящих компонентов и прогнозирование их возможного влияния на структурно-механический свойства мясных систем, а также возможные потенциальные физиологические эффекты, обусловленные потреблением мясного продукта обогащенного состава [7, 8, 16].

На первом этапе нами были изучены функционально-технологические свойства (ФТС) мясных фаршей (влагосвязывающая (ВСС), влагоудерживающая (ВУС) и жироудерживающая (ЖУС) способности), полученных на основе мяса птицы и мяса кролика ручной обвалки в различном соотношении. Результаты исследований ФТС представлены в таблице 2.

Исходя из полученных данных установлено, что оптимальной является замена мяса птицы в рецептуре структурированного колбасного изделия мясом кролика в количестве 50%, что подтверждается увеличением таких показателей, как влагосвязывающая, влаго- и жироудерживающая способность.

Способность веществ биополимерной природы к растворению и набуханию – важные показатели, играющие определенную роль в формировании качественных показателей получаемой продукции.

Таблица 2.

Функционально-технологических свойств мясных фаршей

Table 2.

Functional and technological properties of minced meat

Показатели Index	Значение функционально – технологических показателей (%) при соотношении компонентов мясо птицы: мясо кролика | The value of functional and technological indicators (%) in the ratio of components poultry meat : meat of rabbit					
	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60
ВСС | MBC	45,9	51,6	56,7	63,4	68,2	59,4
ВУС |MHA	44,5	53,7	55,6	58,3	65,4	60,5
ЖУС | FHA	55,3	62,8	66,9	68,2	71,3	61,8

Опытным путем было подобрано соотношение ингредиентов композитной смеси на основе порошкообразного полуфабриката топинамбура, порошка боярышника и муки из пророщенных семян люпина, которое составило 1:1:3. Полученная композитная смесь представлена белками (14,55%), клетчаткой (22,32%), пектиновыми веществами (14,46%) и крахмалом (30,67%). Массовая доля влаги в композитной смеси составляет 14,00%.

Следует отметить, что разработанная композитная смесь представляет собой комплекс веществ биополимерной природы, способных, контактируя с растворителем, поглощать последний, увеличивая тем самым массу и объем биополимера и образуя студнеобразные системы за счет межмолекулярного взаимодействия, но характеризуясь ограниченным набуханием (максимально проявляется при степени гидратации 1:3).

Используемая в работе функциональная композитная смесь характеризуется трехмерной капиллярной структурой, способной связывать воду и жир намного лучше, чем балластные вещества с поверхностным распределением частиц, что подтверждается оценкой водопоглотительной способности.

Согласно полученным данным (рисунок 1) наиболее высокой водопоглотительной способностью характеризовалась композитная смесь, способная связывать до 6 частей воды на 1 часть функциональной смеси.

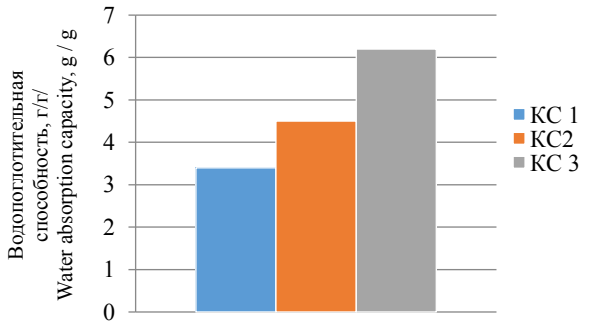


Рисунок 1. Водопоглотительная способность композитных смесей: КС 1 – 1:1:1, КС 2 – 1:1:2, КС 3 – 1:1:3

Figure 1. The potential for water way-ness of composite mixtures: CS 1 – 1:1:1, CS 2 – 1:1:2, CS 3 – 1: 1 : 3

Водопоглотительная способность обусловлена не только особенностями состава и строением биополимеров композитной смеси (КС), но и способностью сорбировать воду. Пектиновые вещества, целлюлоза, входящие в состав КС, обладают повышенными водоудерживающими свойствами. Следует отметить, что целлюлоза обладает системой тончайших субмикроскопических капилляров, которые повышают ее способность поглощать и удерживать воду. Влага поглощается в результате сорбции, первоначально накапливаясь в поверхностном слое, а затем распределяется во всем объеме биополимера путем диффузии [13, 16].

Для исследования взаимодействия различных рецептурных компонентов, влияющих на функционально-технологические свойства мясных фаршей, было применено математическое планирование эксперимента.

Учитывая проведенные исследования технологического характера, функциональные показатели и характеристики ингредиентов рецептуры, а также требования, предъявляемые к качеству разрабатываемого колбасного изделия, были выбраны параметры, влияющие на функционально-технологические свойства фаршей: X_1 – массовая доля пищевого альбумина, % от массы основного мясного сырья, X_2 – массовая доля гидратированной композитной смеси, % от массы мясного сырья. Критерием оценки влияния различного количества рецептурных компонентов на качество готового продукта был выбран: Y_1 – ВСС; %, Y_2 – ЖУС, %.

В результате статистической обработки экспериментальных данных получено уравнение регрессии, адекватно описывающее данный процесс под влиянием исследуемых факторов:

$$Y_1 = 80{,}407 + 5{,}262\ X_1 - 2{,}096\ X_2 - 0{,}9\ X_1\ X_2 + 24{,}828\ X_1^2 - 18{,}189\ X_2^2,$$
$$Y_2 = 75{,}25 + 2{,}802\ X_1 - 0{,}396\ X_2 + 11{,}158\ 1{,}532\ X_1^2 - 8{,}140\ X_2^2.$$

Были определены рациональные значения параметров мясных фаршей: X_1 (пищевой альбумин) = 5,96%; X_2 (композитная смесь) = 10,02%.

Полученные экспериментальные данные легли в основу разработки рецептуры колбасы ветчинно-рубленой «Хлевенская», в фаршевую основу которой вводили предварительно посоленную, измельченную на кусочки размером 1,5 х 1,5 см куриную грудку в количестве 20% к массе мясного сырья, альбумин пищевой в качестве красителя и белкового обогатителя, а также композитную смесь, полученную на основе порошкообразного полуфабриката топинамбура, порошка плодов боярышника и муки из пророщенных семян люпина (в соотношении 1:1:3), и добавки, специи, разрешенные к использованию в мясной отрасли.

Образец ветчинно-рубленой колбасы на основе мяса кролика представлен на рисунке 2.

По результатам выработки образцов было выявлено, что органолептические по-казатели колбасного изделия с добавлением композитной смеси выше контрольного образца (таблица 3, рисунок 3): консистенция более плотная, монолитная, без бульонных отеков, кусочки на разрезе продукта не распадаются, цвет – серо-розовый, равномерный, запах и вкус – характерный для используемого мясного сырья, без посторонних привкусов и запаха.



Рисунок 2. Ветчинно-рубленая колбаса «Хлевенская»

Figure 2. Ham and chopped sausage "Khlevenskaya»

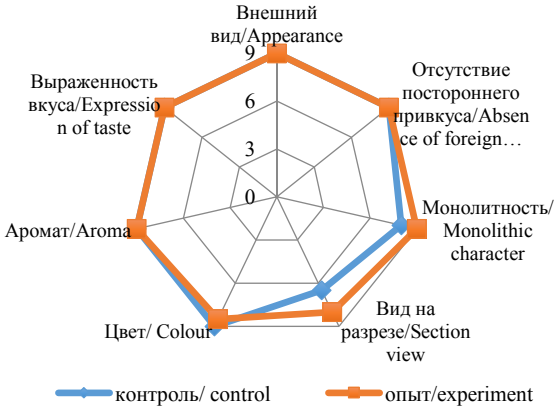


Рисунок 3. Вкусоароматический профиль колбасных изделий

Figure 3. Flavor profile of sausages

Установлено, что введение предварительно гидратированной композитной смеси в количестве 10% повышает функционально-технологические свойства, такие, как ВУС до 80,5%, ВСС до 74,8% и ЖУС до 71,9% мясного фарша с сохранением характерных органолептических свойств ветчинного изделия.

Колбасные изделия исследовались по показателям пищевой и биологической ценности на содержание белка, жира, влаги (таблица 4). Показатели аминокислотной сбалансированности ветчинно-рубленых колбасных изделий представлены в таблице 5.

Анализ полученных результатов (таблица 4) свидетельствует, что по пищевой ценности ветчинно-рубленое колбасное изделие на основе фаршевой системы из мяса кролика и птицы, выработанное с использованием гидратированной композитной смеси, не уступает ветчинному изделию из мяса птицы (контроль), приготовленному по стандартной рецептуре.

Таблица 3.

Органолептические показатели колбасы ветчинно-рубленой «Хлевенская» и ветчины из мяса птицы

Table 3.

Sensory characteristics of sausage ham chopped "Khlevenskogo" and ham poultry meat

Показатель | Index	Характеристика | Characteristic	
	Ветчина из мяса птицы (контроль) | Ham from poultry (control)	Ветчинно-рубленая колбаса «Хлевенская» (опыт) | Ham-chopped sausage "Khlevenskaya" (experience)
Внешний вид | Appearance	Поверхность чистая, сухая, без наплывов фарша, слипов, бульонных и жировых отеков | The surface is clean, dry, without the influx of minced meat, slips, broth and fat edema	
Вид на разрезе | Section view	Кусочки мышечной ткани неопределенной формы светло-розового цвета, с видимыми включениями специй, при нарезании не распадаются | Pieces of muscle tissue of uncertain shape of light pink color, with visible inclusions of spices, do not disintegrate when cutting	
Консистенция | Consistency	Плотная | Dense	
Вкус и запах | Taste and smell	Свойственный данному виду продукта, со слабовыраженным ароматом пряностей, без посторонних привкуса и запаха, вкус слабосоленый | Characteristic of this type of product, with a faint aroma of spices, without the constant taste and smell, the taste is slightly salted	

Таблица 4.

Химический состав колбасных изделий

Table 4.

Chemical composition of sausages

Показатель | Index	Ветчина из мяса птицы (контроль) | Ham from poultry (control)	Ветчинно-рубленая колбаса «Хлевенская» (опыт) | Ham-chopped sausage "Khlevenskaya" (experience)
Массовая доля белка, % | Mass fraction of protein, %	14,7	16,6
Массовая доля жира, % | Mass fraction of fat, %	17,3	12,7
Массовая доля влаги, % | Mass fraction of moisture, %	65,8	64,9
Массовая доля золы, % | Mass fraction of ash, %	2,2	2,5
Массовая доля пищевых волокон, % | Mass fraction of dietary fiber, %	-	3,3

По сравнению с контролем заметно увеличение массовой доли белка и клетчатки, что связано с достаточно высоким содержанием этих компонентов в композитной смеси (таблица 4).

Установлено, опытные образцы разработанных продуктов по содержанию незаменимых аминокислот находятся в необходимом количестве, на что указывают рассчитанные величины аминокислотных скоров (таблица 5) и коэффициент различия аминокислотного скора (КРАС), который показывает среднюю величину избытка аминокислотного скора незаменимых аминокислот по сравнению с наименьшим уровнем скора какой-либо незаменимой аминокислоты.

Для определения безопасности колбасных изделий использовали биологические методы *in vivo*. В результате эксперимента у животных не зарегистрировано гибели, не отмечено признаков интоксикации и заболеваний, отмечалась положительная динамика прироста массы тела.

Таблица 5.

Показатели аминокислотной сбалансированности колбасных изделий

Table 5.

Indicators of amino acid balance of meat products

Наименование показателя | Index	Значение показателя | Value of indicator	Колбасные изделия | Meat products	
		Ветчина из мяса птицы (контроль) | Ham from poultry (control)	Ветчинно-рубленая колбаса «Хлевенская» (опыт) | Ham-chopped sausage "Khlevenskaya" (experience)
Коэффициент различий аминокислотного скора, КРАС | The coefficient of differences of amino acid score, CDAS	–	32,24	24,40
Аминокислотный скор, ACmin | Amino acid fast, AFmin	ACmin→1 AFmin→1	0,83	0,91
Коэффициент сбалансированности аминокислотного состава U | Balance coefficient of amino acid composition U	U→1	0,88	0,91
Показатель сопоставимой избыточности, σс | The figure is comparable redundancy, σc,	σ→0	0,11	0,06
Биологическая ценность, БЦ | Biological value, BV	БЦ→100 BV →100	67,76	75,60
Показатель чистой утилизации белка, ЧУБ | Indicator of net protein utilization, NPU	ЧУБ→100 NPU→100	76,35	87,00

Микроскопическое исследование внутренних органов всех крыс, поедающих образцы колбасных изделий, показало, что они имели обычное строение и не отличались от таковых у контрольных животных. Таким образом, при скармливании крысам в течение 45 дней разработанного вида ветчинно-рубленой колбасы гистологическая картина почек, печени и желудка сходна с контрольной группой животных и нет существенного влияния на морфологическую структуру.

Для определения степени аллергической реакции, выявления реакции организма на определенные пищевые добавки был исследован общий (клинический) анализ крови с лейкоцитарной формулой. Наблюдались незначительные изменения гематологических показателей. В контрольной группе, употреблявшей контрольный образец колбасного изделия, лейкоциты повысились на $1{,}40 \cdot 10^3$/мм^3, в опытной группе, получавшей ветчинно-рубленую колбасу с композитной смесью, – на $3{,}00 \cdot 10^3$/мм^3. Гемоглобин снизился в котрольной группе на 0,63 г/100 мм^3, в опытной повысился на 0,26 г/100 мм^3, содержание эритроцитов снизилось на $1{,}18 \cdot 10^6$/мм^3 в контрольной группе и на $0{,}38 \cdot 10^6$/мм^3 – в опытной группе. Гематокрит – показатель, который определяет содержание красных клеток крови (эритроцитов) в её общем объёме, по сравнению с контрольной группой крыс незначительно понижен, но при этом остается в пределах нормы.

Анализ результатов биохимического исследования крови показал, что у крыс в контрольной группе уменьшилось содержание общего белка на 2,34 г/л, также уменьшился показатель билирубина на 0,6 мкМ/л, остались практически неизменны показатели креатина, мочевины. Уровень глюкозы приобрел нижнюю границу нормы. В опытной группе наблюдалось незначительное уменьшение таких показателей, как глюкоза и мочевина, показатель общего белка увеличился на 2,13 г/л.

По сравнению с контрольной группой экспериментальных животных уровень кальция в крови повысился в опытной группе на 0,24 мМ/л, количество фосфор и магния в крови практически не изменилось.

Заключение

Полученные результаты положительно оценивают перспективы использования функциональной композитной смеси на основе порошка топинамбура, боярышника и муки из пророщенных семян люпина в соотношении 1:1:3 в гидратированном виде (1:3) в составе мясных фаршей для ветчинно-рубленых изделий с использованием ресурсов кролиководства.

Анализ пищевой, биологической ценности и медико-биологическая оценка разработанной ветчинно-рубленой колбасы «Хлевенская» на теплокровных животных подтверждает перспективность внедрения на промышленной основе данного продукта, который не оказывает отрицательного воздействия на гомеостаз живого организма.

ЛИТЕРАТУРА

1 Антипова Л.В., Глотова И.А., Рогов И.А. Методы исследования мяса и мясных продуктов. Москва: КолосС, 2004. 571 с.

2 Курчаева Е.Е., Черняева С.Н., Сафонова Ю.А. Изучение процесса снижения антипитательных веществ в семенах бобовых // Агроэкологический вестник. 2017. С. 132–137.

3 Сафонова Ю.А., Горохов М.М. Оптимизация условий процесса биоактивации семян бобовых культур // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации. 2017. С. 105–108.

4 Сидорова А.И., Куликова М.Г. Инновационный подход к проектированию пищевых продуктов // Естественные и технические науки. 2017. №. 5. С. 157–158.

5 Антипова Л.В., Попова Я.А. Развитие ассортимента пищевых продуктов на основе мяса кроликов // В сборнике: материалы LVI отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2017 год. Часть 1. 2018. С. 74.

6 Сайфетдинов А.Р., Терещенко Г.А. Альтернативные направления импортозамещения на отечественном рынке мясной продукции // Проблемы и перспективы развития науки в России и мире: сборник статей Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 15 февраля 2017 г. Уфа: АЭТЕРНА, 2017. С. 168–173.

7 Talukder S. Effect of dietary fiber on properties and acceptance of meat products: a review // Critical reviews in food science and nutrition. 2015. V. 55. №. 7. P. 1005–1011.

8 Mehta N., Ahlawat S.S., Sharma D.P., Dabur R.S. Novel trends in development of dietary fiber rich meat products – a critical review // Journal of Food Science and Technology. 2015. V. 52. №. 2. P. 633–647.

9 Para P.A., Wakchaure R., Ganguly S.P. Praveen K.R. Rabbit meat has the potential of being a possible alternative to other meats as a protein source: A brief review // International Journal Pharmacy and Biomedical Research. 2015. V. 2. P. 17–19.

10 Kraus A. Development of functional food with the participation of the consumer. Motivators for consumption of functional products // International Journal of Consumer Studies. 2015. V. 39. №. 1. P. 2–11.

11 Сложенкина М.И., Княжеченко О.А., Горлов И.Ф., Шинкарева С.В. Использование топинамбура для улучшения потребительских и функционально-технологических свойств ветчинных изделий // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2017. №. 3 (47). С. 141–145.

12 Скрипникова Д.П., Лещуков К.А. Изучение влияния порошка плодов боярышника на химический состав и функционально-технологические свойства мясорастительных паштетов // Биология в сельском хозяйстве. 2016. № 1 (10). С. 23–26.

13 Курчаева Е.Е., Максимов И.В., Рязанцева А.О. Разработка комбинированных мясных систем на основе комплексного использования сырьевых ресурсов АПК // Евразийский союз ученых. 2015. №. 10-6. С. 141–145.

14 Шинкарева С.В., Княжеченко О.А., Бузова В.В. Производство реструктурированных ветчин из нетрадиционного сырья с введением растительного компонента // Актуальные научные исследования в современном мире. 2017. № 2–1 (22). С. 87–89.

15 Ключникова О.В., Кожевникова Н.П., Слободяник В.С., Сухарева И.А. и др. Функциональные продукты на основе мяса кролика // Успехи современного естествознания. 2012. № 6. С. 134–135.

16 Felisberto M.H.F., Galvao M.T.E.L., Picone C.S.F., Cunha R.L. et. al. Effect of prebiotic ingredients on the rheological properties and microstructure of reduced-sodium and low-fat meat emulsions // LWT – Food Science and Technology. 2015. V. 60. №. 1. P. 148–155.

REFERENCES

1 Antipova L.V., Glotova I.A., Rogov I.A. Metody issledovaniya myasa i myasnyh produktov [Methods of research of meat and meat products]. Moscow, KolosS, 2001. 576 p. (in Russian)

2 Kurchaeva E.E., Chernyaeva S.N., Safonova Y.A. Study of the process of reduction of anti-nutritional substances in legumes seeds. *Agroehkologicheskij vestnik* [Agroecological journal]. 2017. pp. 132-137. (in Russian)

3 Safonov Y.A., Gorokhov M.M. Optimization of process conditions of bioactively legumes seeds. *Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovacii* [Fundamental and applied scientific research: current issues, achievements and innovations]. 2017. pp. 105–108. (in Russian)

4 Sidorov A.I., Kulikova M.G. Innovative approach to the design of food products. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and technical Sciences]. 2017. no. 5. pp. 157–158. (in Russian)

5 Antipova L.V., Popova Y.A. Development of a range of foods based on meat rabbits. Materialy LVI otchetnoj nauchnoj konferencii prepodavatelej i nauchnyh sotrudnikov VGUIT za 2017 god. Chast' 1 [In the collection: materials of the LVI reporting scientific conference of teachers and researchers at VSUET for 2017. Part 1]. 2018. pp. 74. (in Russian)

6 Saifutdinov A.R., Tereshchenko G.A. Alternative directions of import substitution in the domestic market of meat products. Problemy i perspektivy razvitiya nauki v Rossii i mire [Problems and prospects for the development of science in Russia and the world: a collection of articles of the International Scientific and Practical Conference, Ekaterinburg, February 15, 2017]. Ufa, AETERNA. 2017. vol. 15. pp. 168–173. (in Russian)

7 Talukder S. Effect of dietary fiber on properties and acceptance of meat products: a review. Critical reviews in food science and nutrition. 2015. vol. 55. no. 7. pp. 1005–1011.

8 Mehta N., Ahlawat S.S., Sharma D.P., Dabur R.S. Novel trends in development of diet fiber rich meat products – a critical review. Journal of Food Science and Technology. 2015. vol. 52. no. 2. pp. 633-647.

9 Para P.A., Wakchaure R., Ganguly S., P. Praveen K.R. Rabbit meat has the potential of being a possible alternative to other meats as a protein source: A brief review. International Journal Pharmacy and Biomedical Research. 2015. vol. 2. pp. 17–19.

10 Kraus A. Development of the functional food with the participation of the consumer. Motivators for consumption of functional products. International Journal of Consumer Studies. 2015. vol. 39. no. 1. pp. 2–11.

11 Slozhenkina M.I., Knyazhichenko O.A., Gorlov I.F., Shinkareva S.V. The use of artichoke to improve consumer and functional-technological properties of ham products. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of Nizhnevolzhsky agrodiversity complex: science and higher professional education]. 2017. no. 3 (47). pp. 141–145. (in Russian)

12 Skripnikova D.P., Leshukov K.A. Study of the effect of hawthorn fruit powder on chemical composition and functional and technological properties of meat and cereal pates. *Biologiya v sel'skom hozyajstve* [Biology in agriculture]. 2016. no. 1 (10). pp. 23–26. (in Russian)

13 Kurchaeva E.E., Maksimov I.V., Ryazantsev A.O. Development of combined meat systems on the basis of complex use of raw materials of agroindustrial complex. *Evrazijskij soyuz uchenyh* [Eurasian Union of scientists]. 2015. no. 10-6. pp. 141–145. (in Russian)

14 Shinkareva S.V., Knyazhichenko O.A., Buzova V.V. Manufacture of restructured hams from non-traditional raw materials with the introduction of plant components. *Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire* [Actual scientific researches in the modern world]. 2017. no. 2-1 (22). pp. 87–89. (in Russian)

15 Klyuchnikova O.V., Kozhevnikova N.P., Slobodjanik V.S., Sukhareva I.A. et al. Functional foods based on meat rabbit. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural science]. 2012. no. 6. pp. 134–135. (in Russian)

16 Felisberto M.H.F., Galvao M.T.E.L., Picone C.S.F., Cunha R.L. et. al. Effect of prebiotic ingredients on the rheological properties and microstructure of reduced-sodium and low-fat meat emulsions. LWT – Food Science and Technology. 2015. vol. 60. no. 1. pp. 148–155.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Евгения С. Шенцова д.т.н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, evgeniya-shencova@yandex.ru

Александр В. Востроилов д.с.-х.н., профессор, заведующий кафедрой частной зоотехнии, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, alexandervostroilov@yandex.ru

Елена Е. Курчаева к.т.н., доцент, докторант кафедры частной зоотехнии, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, alena.kurchaeva@yandex.ru

Игорь В. Максимов к.с-х.н., доцент, кафедра технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, maximus880@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 09.10.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 02.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Evgenia S. Shentsova Dr. Sci. (Engin.), professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, evgeniya-shencova@yandex.ru

Alexander V. Vostroilov Dr. Sci. (Agric.), professor, head of private animal science department, Voronezh state agrarian University named after Emperor Peter I, Michurina str., 1, Voronezh, 394087, Russia, alexandervostroilov@yandex.ru

Elena E. Kurchaeva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, doctoral student of private animal science department, Voronezh state agrarian University named after Emperor Peter I, Michurina str., 1, Voronezh, 394087, Russia, alena.kurchaeva@yandex.ru

Igor V. Maksimov Cand. Sci. (Agric.), associate professor, technology of storage and processing of agricultural products department, Voronezh state agrarian University named after Emperor Peter I, Michurina str., 1, Voronezh, 394087, Russia, maximus880@mail.ru

CONTRIBUTION

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.9.2018

ACCEPTED 11.2.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 57.083.133

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-269-277

Эффективность синтеза внеклеточных полисахаридов штаммами дрожжей Lipomyces

Инназар А. Хусаинов [1] fortes16@yandex.ru
Евгений Р. Якубов [1] rescaolofe@gmail.com
Зося А. Канарская [1] zosya_kanarskaya@mail.ru
Альберт В. Канарский [1] alb46@mail.ru
Ирина А. Максимова [2] maximova.irina@gmail.com
Алексей В. Качалкин [2,3] kachalkin_a@mail.ru

[1] Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия
[2] Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Ленинские горы, 1, г. Москва, 119991, Россия
[3] Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г. К. Скрябина РАН, Проспект Науки, 5, г. Пущино, 142290, Россия

Аннотация. Образование внеклеточных полисахаридов – достаточно хорошо изученное свойство бактерий, которое используется для промышленного производства таких внеклеточных бактериальных как ксантан, декстран, геллан, гиалуронан и др. Также широко применяются и полисахариды, синтезируемые грибами, как например, шизофиллан и склероглюкан. Однако полисахариды, синтезируемые дрожжами и дрожжеподобными грибами, пока не нашли широкого промышленного применения, за исключением пуллулана, продуцируемого дрожжами *Aureobasidium pullulans*, несмотря на то, что имеется ряд перспективных разработок по использованию дрожжевых полисахаридов в медицине. Дрожжи синтезируют полимеры, в составе которых содержатся маннаны, глюканы, фосфоманнаны, галактоманны и глюкуроноксилманнаны. Полисахариды, продуцируемые разными видами, а иногда даже разными штаммами одного и того же вида могут различаться по химическому составу и структуре. Такое разнообразие состава и свойств открывает большие перспективы применения их в самых разнообразных областях: медицине, химической, пищевой и косметической промышленностях, а также в качестве кормовых добавок. В этой связи поиск новых продуцентов полисахаридов весьма актуален. Дрожжи рода *Lipomyces* встречаются в почвах южного и северного полушария Земли, кроме высокогорных районов и почв тундры, где почвообразовательные процессы находятся на ранних стадиях развития, однако богаты этими дрожжами почвы степной и лесной зон. В результате проведения исследований выясняется, что с точки зрения прироста биомассы на представленной питательной среде при исследуемых температурах наибольшее внимание привлекают штаммы дрожжей *Lipomyces lipofer* КБП Y-6267 и КБП Y-6265, особенно при пониженных температурах. С повышением температуры прирост биомассы у этих дрожжей заметно снижается. В качестве продуцентов внеклеточного полисахарида стоит отметить штаммы КБП Y-6267 и КБП Y-6264 при 20 °С и штаммы КБП Y-6268 и КБП Y-6234 при 30 °С, что указывает на возможность использования для этих целей разных видов рода *Lipomyces*. При 30 °С штаммы *Lipomyces lipofer* КБП Y-6268 и *Lipomyces kononenkoae* КБП Y-6234 обладали наибольшими активностями ферментов, тем не менее, зависимость между активностями ферментов, приростами биомассы и выходами полисахарида при пониженных температурах отмечено не было.

Ключевые слова: внеклеточные полисахариды, психрофилы, Lipomyces, культивирование, меласса

Efficiency of synthesis of extracellular polysaccharides strains of Lipomyces yeast

Innazar A. Khusainov [1] fortes16@yandex.ru
Evgeniy R. Yakubov [1] rescaolofe@gmail.com
Zosya A. Kanarskaya [1] zosya_kanarskaya@mail.ru
Albert V. Kanarskiy [1] alb46@mail.ru
Irina A. Maximova [2] maximova.irina@gmail.com
Aleksey V. Kachalkin [2,3] kachalkin_a@mail.ru

[1] Kazan National Research Technological University, Karl Marx str., 68, Kazan, 420015, Russia
[2] Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 1, Moscow, 119991, Russia
[3] Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms (IBPM RAS), Prospect Nauki, 5, Puschino, 142290, Russia

Abstract. The formation of extracellular polysaccharides is a fairly well-studied property of bacteria that is used for the industrial production of such extracellular bacterial as xanthan, dextran, gellan, hyaluronan, etc.. Polysaccharides synthesized by fungi are also widely used, such as schizophillan and scleroglucan. However, polysaccharides synthesized by yeast and yeast-like fungi have not yet found wide industrial application, with the exception of pullulan produced by *Aureobasidium pullulans* yeast, although there are a number of promising developments in the use of yeast polysaccharides in medicine. Yeast synthesizes polymers that contain mannans, glucans, phosphomannans, galactomannans, and glucuronoxylmannans. Polysaccharides produced by different species, and sometimes even by different strains of the same species, may differ in chemical composition and structure. Such a variety of composition and properties opens up great prospects for their use in various fields: medicine, chemical, food and cosmetic industries, as well as feed additives. In this regard, the search for new producers of polysaccharides is very relevant. Yeast of the genus *Lipomyces* is found in the soils of the southern and northern hemispheres of the Earth, except in the high-mountainous regions and tundra soils, where soil formation processes are in early stages of development, but the soils are rich in steppe and forest zones. As a result of the research, it turns out that from the point of view of biomass growth on the presented

Для цитирования

Хусаинов И.А., Якубов Е.Р., Канарская З.А., Канарский А.В., Максимова И.А., Качалкин А.В. Эффективность синтеза внеклеточных полисахаридов штаммами дрожжей Lipomyces // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 269–277. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-269-277

For citation

Husainov I.A., Yakubov E.R., Kanarskaya Z.A., Kanarskiy A.V., Maksimova I.A., Kachalkin A.V. Efficiency of synthesis of extracellular polysaccharides strains of Lipomyces yeast. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 269–277. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-269-277

nutrient medium at the temperatures studied, the strains of the *Lipomyces lipofer* yeast КБП Y-6267 and КБП Y-6265 attract the most attention, especially at low temperatures. With an increase in temperature, the increase in biomass in these yeasts decreases markedly. As producers of extracellular polysaccharide, it is worth noting the КБП Y-6267 and КБП Y-6264 strains at 20 °C and the КБП Y-6268 strains and the КБП Y-6234 at 30 °C, which indicates the possibility of using for these purposes different species of the genus *Lipomyces*. At 30 °C, *Lipomyces lipofer* strains of the КБП Y-6268 and *Lipomyces kononenkoae* КБП Y-6234 had the highest enzyme activities, however, there was no relationship between enzyme activities, biomass gains and polysaccharide yields at low temperatures.

Keywords: extracellular polysaccharides, psychrophils, Lipomyces, cultivation, molasses

Введение

Образование внеклеточных полисахаридов – хорошо изученное свойство бактерий, которое используется для промышленного производства таких внеклеточных бактериальных полисахаридов, как ксантан, декстран, геллан, гиалуронан и др. Также широко применяются и полисахариды, синтезируемые грибами, как, например, шизофиллан и склероглюкан. Однако полисахариды, синтезируемые дрожжами и дрожжеподобными грибами, пока не нашли широкого промышленного применения, за исключением продуцируемого дрожжами *Aureobasidium pullulans* пуллулана [1]. Однако имеется ряд перспективных разработок по использованию дрожжевых полисахаридов в медицине [2, 3].

Дрожжи синтезируют полимеры, в составе которых содержатся маннаны, глюканы, фосфоманнаны, галактоманны и глюкуроноксилманнаны. Полисахариды, продуцируемые разными видами, а иногда даже разными штаммами одного и того же вида могут различаться по химическому составу и структуре. Такое разнообразие состава и свойств открывает большие перспективы применения их в самых разнообразных областях: медицине, химической, пищевой и косметической промышленностях, а также в качестве кормовых добавок [4]. В этой связи поиск новых продуцентов полисахаридов весьма актуален.

Дрожжи рода *Lipomyces* встречаются в почвах южного и северного полушария Земли, кроме высокогорных районов и почв тундры, где почвообразовательные процессы находятся на ранних стадиях развития, однако богаты этими дрожжами почвы степной и лесной зон [5].

Липомицеты в отличие от микромицетов играют не столь существенную роль в деструкции и разложении растительных остатков в лесных почвах, выступая, преимущественно, в качестве симбиотической микрофлоры для более активных почвенных микроорганизмов [6].

Внеклеточные полисахариды липомицетов. Согласно данным ИК-спектроскопии внеклеточные полисахариды липомицетов представляют собой группу родственных соединений, отличающихся друг от друга по соотношению отдельных моносахаридов, типом связей между моносахаридными остатками и конфигурациями последних. На это указывают данные и значения углов вращения нативных полисахаридов [7].

Цель работы – определение перспективности применения дрожжей рода *Lipomyces* в индустриальных условиях для получения биомассы и синтеза внеклеточных полисахаридов.

Материалы и методы

В работе использованы штаммы аскомицетовых дрожжей рода *Lipomyces* из коллекции кафедры биологии почв, факультета почвоведения Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (WDCM CCINFO 1173).

Поскольку первоначальная видовая идентификация коллекционных культур дрожжей была выполнена более 30 лет тому назад, была проведена их повторная идентификация на основе анализа нуклеотидных последовательностей D1/D2 доменов региона 26S (LSU) рДНК. Выделение ДНК, проведение ПЦР осуществляли по методике, описанной ранее [8]. Для амплификации интересующего нас региона рДНК, содержащего D1/D2 домены, использовали праймеры: ITS1f (5'-CTT GGT CAT TTA GAG AAG TA) и NL4 (5'-GGT CCG TGT TTC AAG ACG G). Секвенирование ДНК проводили с использованием праймера NL4 на секвенаторе AppliedBiosystems 3130xl Genetic Analyzer в Научно-производственной компании «Синтол» (Москва). Идентификацию полученных результатов проводили, используя данные генбанка NCBI (ncbi.nlm.nih.gov) и базы данных MycoID (www.mycobank.org). Видовые обозначения дрожжей приводятся в статье после их повторной идентификации.

Культивирование дрожжей проводили на питательной среде, приготовленной из гидролизата кукурузной биомассы. Для приготовления питательной среды к сухой растительной биомассе кукурузы, полученной после водной экстракции сахарозы, добавляли воду в соотношении 1:10 (сухое вещество: вода). Предварительный гидролиз с целью делигнификации проводился при температуре 95 °C на водяной бане в течение 2 ч с добавлением NaOH в количестве 3% и перекиси водорода в количестве 2% к массе сухого вещества. Полученная разваренная масса промывалась проточной водой и отжималась. Концентрация сухого вещества разваренной массы доводилась до 3% добавлением воды с последующим гидропомолом на лабораторном измельчителе ножевого типа. Затем с помощью 14%-ного раствора соляной кислоты pH доводился до 5,0–5,5. Полученная масса нагревалась до 50 °C, вводился фермент Accellerase 500

в количестве 0,20–0,25 мл/г сухого вещества для ферментативного гидролиза растительных полимеров. Гидролиз производился в течение 24 ч. Полученная масса центрифугировалась, надосадочная жидкость стерилизовалась и использовалась в качестве питательной среды.

Культивирование дрожжей проводили в колбах объемом 100 мл при непрерывном перемешивании на шейкере в течение 6–7 сут, варьируя температуру.

Для определения количества дрожжевых клеток в культуральной жидкости использовали камеру Горяева-Тома. Оптическую плотность определяли фотометрическим методом при длине волны 540 нм в кюветах шириной 5 мм по предварительно построенному калибровочному графику. Концентрацию внеклеточных полисахаридов определяли по разнице концентраций редуцирующих веществ в культуральной жидкости до и после кислотного гидролиза.

Удельную скорость роста μ определяли логарифмическим отношением количества биомассы m_1, полученной за время t, к количеству биомассы дрожжей m_2, засеянных в колбы, по формуле:

$$\mu = \frac{\ln \frac{m_1}{m_2}}{t}.$$

Время генерации определяли по формуле

$$q = 0,693 / \mu.$$

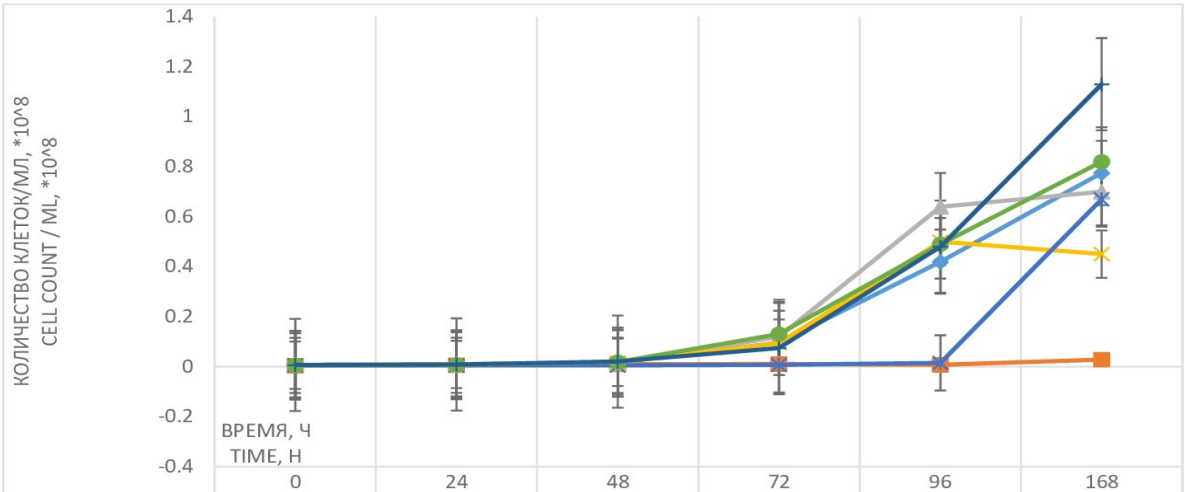
Выход биомассы дрожжей определяли отношением количества биомассы m_1, полученной за время t, к количеству редуцирующих веществ m_2 ассимилированных дрожжами за время t, по формуле:

$$B = \frac{m_1}{m_2} \cdot 100\% .$$

Результаты и обсуждение

Культивирование при 20 °С. Изменение численности клеток практически у всех штаммов за исключением КБП Y-6258 и КБП Y-6234 начинается примерно с 60-го ч культивирования. Линейный характер прироста клеток, начиная с 72-го ч культивирования и до окончания культивирования на 168-м ч, отмечен у штаммов КБП Y-6267, КБП Y-6265 и КБП Y-6264. При этом наибольшая концентрация клеток дрожжей отмечена у штамма КБП Y-6267. У штамма КБП Y-6234 линейный прирост численности клеток начинается с 96-го ч, тогда как штаммы КБП Y-6268 и КБП Y-6266 в это время достигают максимума численности клеток. Численность клеток КБП Y-6258 изменяется незначительно в течение всего исследуемого периода культивирования при данных условиях (рисунок 1).

Наибольший прирост биомассы также характерен для штамма КБП Y-6267. Однако наибольшее значение удельной скорости роста и наименьшее время генерации отмечено у штамма КБП Y-6266 (таблица 1).



	0	24	48	72	96	168
КБП Y-6265	0.0052	0.0092	0.017	0.095	0.42	0.775
КБП Y-6258	0.00425	0.00625	0.00975	0.0105	0.0072	0.028
КБП Y-6266	0.0075	0.0095	0.014	0.12	0.64	0.7
КБП Y-6268	0.0055	0.0085	0.017	0.094	0.5	0.45
КБП Y-6234	0.005	0.0052	0.0052	0.0072	0.015	0.67
КБП Y-6264	0.0055	0.0075	0.0187	0.13	0.49	0.82
КБП Y-6267	0.0067	0.0087	0.02	0.074	0.48	1.13

Рисунок 1. Влияние продолжительности культивирования на изменение количества клеток штаммов дрожжей *Lipomyces* при 20 °С

Figure 1. The effect of the duration of cultivation on the change in the number of cells of the yeast *Lipomyces* strains at 20 °*C*

Таблица 1.

Кинетические характеристики роста и выход биомассы при 20 °С

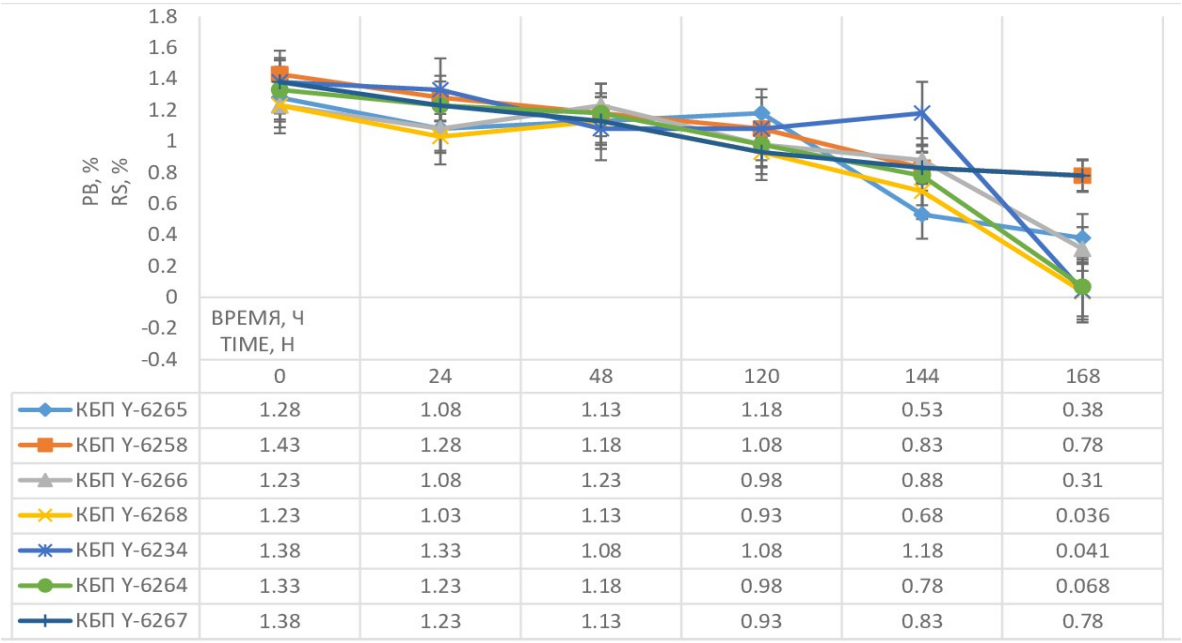
Table 1.

Kinetic characteristics of growth and biomass yield at 20 °С

Показатели Indicators	Штаммы | Strains						
	КБП Y-6265	КБП Y-6258	КБП Y-6266	КБП Y-6268	КБП Y-6234	КБП Y-6264	КБП Y-6267
Удельная скорость роста, $ч^{-1}$ | Specific growth rate, h^{-1}	0,038±0,004	0,005±0,002	0,145±0,033	0,135±0,012	0,049±0,01	0,039±0,009	0,042±0,008
Время генерации, ч Generation time, h	26,100±1,963	201,380±4,259	6,880±0,697	7,410±1,002	20,400±2,744	25,700±4,648	23,670±2,545
Выход биомассы, % Biomass yield, %	43,050±4,199	2,150±0,247	38,040±2,309	45,450±2,464	25,020±3,288	32,490±3,015	56,160±3,218

Р 95

Практически полное потребление РВ питательной среды на 168-м часу культивирования характерно для штаммов КБП Y-6268, КБП Y-6264 и КБП Y-6234. Наибольшая остаточная концентрация РВ питательной среды соответствует штамму КБП Y-6258. Штаммы КБП Y-6267, КБП Y-6266 и КБП Y-6268 по остаточной концентрации РВ занимают промежуточное положение (рисунок 2).



	0	24	48	120	144	168
КБП Y-6265	1.28	1.08	1.13	1.18	0.53	0.38
КБП Y-6258	1.43	1.28	1.18	1.08	0.83	0.78
КБП Y-6266	1.23	1.08	1.23	0.98	0.88	0.31
КБП Y-6268	1.23	1.03	1.13	0.93	0.68	0.036
КБП Y-6234	1.38	1.33	1.08	1.08	1.18	0.041
КБП Y-6264	1.33	1.23	1.18	0.98	0.78	0.068
КБП Y-6267	1.38	1.23	1.13	0.93	0.83	0.78

Рисунок 2. Изменение содержания редуцирующих веществ в питательной среде при культивировании дрожжей *Lipomyces* при температуре 20 °С

Figure 2. The change in the content of reducing substances in the substratum during the cultivation of *Lipomyces* yeast at a temperature of 20 °*C*

Штаммы КБП Y-6267 и КБП Y-6264, имеющие наибольший прирост численности клеток, также демонстрируют высокую полисахарид-синтезирующую способность. Штамм КБП Y-6258, имеющий наименьший прирост численности клеток, имеет также наименьшую концентрацию внеклеточного полисахарида. Однако зависимость концентрации полисахарида от численности клеток не соответствует штамму КБП Y-6265, который при значительной численности клеток имеет низкую концентрацию полисахарида (рисунок 3). Остальные штаммы занимают промежуточное положение по данному параметру.

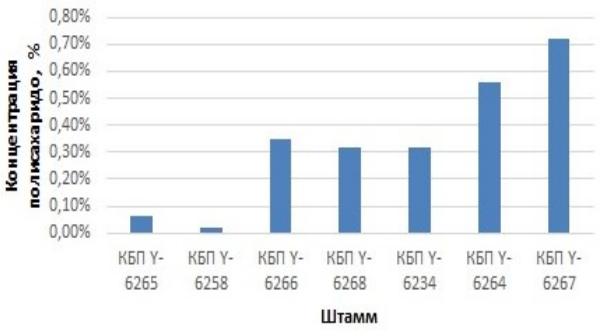


Рисунок 3. Концентрация внеклеточных полисахаридов при синтезе различными штаммами при 20 °С

Figure 3. Concentration of extracellular polysaccharides in the synthesis of different strains at 20 °С

Штаммам КБП Y-6267 и КБП Y-6264, имеющим наибольший прирост клеток и концентрацию полисахарида, характерны также близкие значения ксиланазной и целлобиазной активности (таблица 2). При этом штамму КБП Y-6258, имеющему наименьший прирост клеток и наименьшую концентрацию полисахарида, свойственны высокие значения ксиланазной, целлобиазной и целлюлазной активности. Таким образом, наличие активностей вышеперечисленных ферментов не дает преимущество микроорганизмам при данных условиях культивирования на исследуемой питательной среде.

Таблица 2.

Ферментативная активность дрожжей *Lipomyces* при 20 °С

Table 2.

Enzymatic activity of the yeast *Lipomyces* at 20 °C

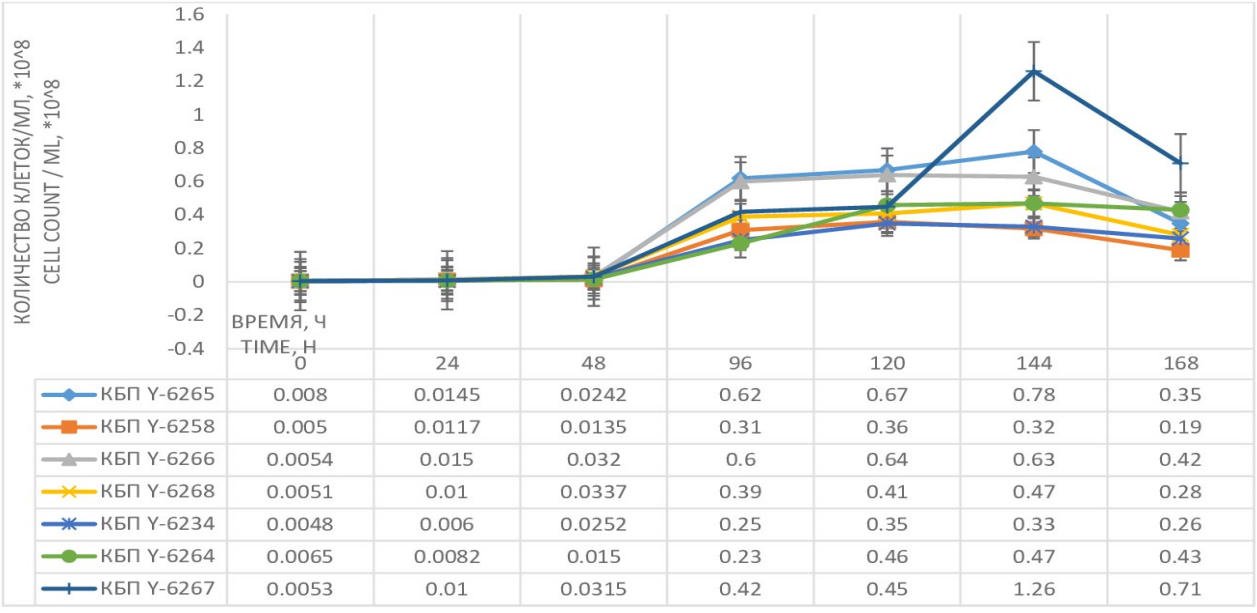
	Штаммы | Strains						
	КБП Y-6265	КБП Y-6258	КБП Y-6266	КБП Y-6268	КБП Y-6234	КБП Y-6264	КБП Y-6267
Ксиланазная, IU/mL Xylanase, IU/mL	0,032±0,004	0,085±0,005	0,046±0,005	0,032±0,003	0,046±0,004	0,052±0,005	0,052±0,005
Целлюлазная, FPU/mL Cellulase, FPU/mL	0,065±0,004	0,084±0,008	0,065±0,003	0,230±0,030	0,084±0,004	0,019±0,003	0,046±0,004
Целлобиазная, FPU/mL Cellobiase, FPU/mL	0,084±0,004	0,260±0,030	0,160±0,011	0,100±0,006	0,093±0,002	0,093±0,002	0,084±0,004

Р 95

Культивирование при 25 °С.

Изменение численности клеток практически у всех штаммов начинается примерно с 48-го ч культивирования. При этом наибольшая концентрация клеток дрожжей отмечена у штамма КБП Y-6267 на 144-м ч культивирования. Штаммы КБП Y-6258, КБП Y-6266, КБП Y-6234 достигают максимума численности клеток на 120-м ч культивирования, а остальные – при 144-х ч. После 144-х ч культивирования численность клеток всех штаммов начинает снижаться (рисунок 4).

При данной температуре культивирования наибольший прирост биомассы характерен для штамма КБП Y-6267. Однако наибольшее значение удельной скорости роста и наименьшее время генерации отмечено у штамма КБП Y-6265 (таблица 3).



	0	24	48	96	120	144	168
КБП Y-6265	0.008	0.0145	0.0242	0.62	0.67	0.78	0.35
КБП Y-6258	0.005	0.0117	0.0135	0.31	0.36	0.32	0.19
КБП Y-6266	0.0054	0.015	0.032	0.6	0.64	0.63	0.42
КБП Y-6268	0.0051	0.01	0.0337	0.39	0.41	0.47	0.28
КБП Y-6234	0.0048	0.006	0.0252	0.25	0.35	0.33	0.26
КБП Y-6264	0.0065	0.0082	0.015	0.23	0.46	0.47	0.43
КБП Y-6267	0.0053	0.01	0.0315	0.42	0.45	1.26	0.71

Рисунок 4. Влияние продолжительности культивирования на изменение количества клеток штаммов дрожжей *Lipomyces* при 25 °С

Figure 4. The effect of the duration of cultivation on the change in the number of cells of the yeast *Lipomyces* strains at 25 °C

Таблица 3.

Кинетические характеристики роста и выход биомассы при 25 °С

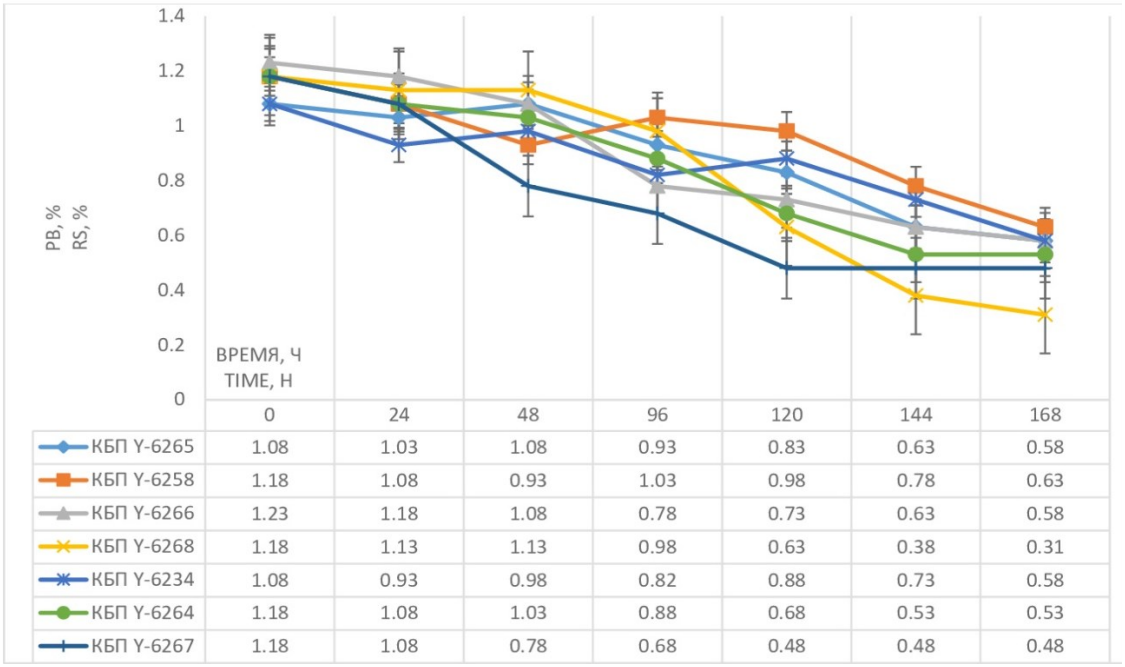
Table 3.

Kinetic characteristics of growth and biomass yield at 25 °С

Показатели Indicators	Штаммы | Strains						
	КБП Y-6265	КБП Y-6258	КБП Y-6266	КБП Y-6268	КБП Y-6234	КБП Y-6264	КБП Y-6267
Удельная скорость роста, $ч^{-1}$ | Specific growth rate, h^{-1}	0,072±0,004	0,057±0,003	0,071±0,002	0,062±0,003	0,040±0,003	0,044±0,003	0,043±0,003
Время генерации, ч Generation time, h	13,890±0,049	17,380±0,079	14,020±0,082	16,040±0,041	24,970±0,034	22,800±0,150	23,050±0,150
Выход биомассы, % Biomass yield, %	35,000±0,392	17,270±0,269	32,300±1,037	16,090±0,115	26,000±0,248	33,070±0,234	50,710±1,039

Р 95

Наибольшее потребление РВ питательной среды на 168-м ч культивирования характерно для штаммов КБП Y-6268 и КБП Y-6267. Наибольшая остаточная концентрация РВ питательной среды характерна для штамма КБП Y-6258. Штаммы КБП Y-6265, КБП Y-6266, КБП Y-6264 и КБП Y-6234 по степени потребления РВ занимают промежуточное положение (рисунок 5).



	0	24	48	96	120	144	168
КБП Y-6265	1.08	1.03	1.08	0.93	0.83	0.63	0.58
КБП Y-6258	1.18	1.08	0.93	1.03	0.98	0.78	0.63
КБП Y-6266	1.23	1.18	1.08	0.78	0.73	0.63	0.58
КБП Y-6268	1.18	1.13	1.13	0.98	0.63	0.38	0.31
КБП Y-6234	1.08	0.93	0.98	0.82	0.88	0.73	0.58
КБП Y-6264	1.18	1.08	1.03	0.88	0.68	0.53	0.53
КБП Y-6267	1.18	1.08	0.78	0.68	0.48	0.48	0.48

Рисунок 5. Изменение содержания редуцирующих веществ в питательной среде при культивировании дрожжей *Lipomyces* при температуре 25 °С

Figure 5. The change in the content of reducing substances in the substratum during the cultivation of *Lipomyces* yeast at a temperature of 25 °С

Штаммам КБП Y-6267 и КБП Y-6265, имеющим наибольший прирост клеток, характерны относительно невысокие значения ферментативной активности (таблица 4). При этом штамму КБП Y-6258, имеющему наименьший прирост клеток, свойственно высокое значение ксиланазной, целлобиазной и целлюлазной активности.

Таблица 4.

Ферментативная активность дрожжей *Lipomyces* при 25 °С

Table 4.

Enzymatic activity of the yeast *Lipomyces* at 25 °С

	Штаммы Strains						
	КБП Y-6265	КБП Y-6258	КБП Y-6266	КБП Y-6268	КБП Y-6234	КБП Y-6264	КБП Y-6267
Ксиланазная, IU/mL Xylanase, IU/mL	0,028±0,002	0,093±0,009	0,028±0,006	0,039±0,004	0,052±0,006	0,032±0,003	0,032±0,004
Целлюлазная, FPU/mL Cellulase, FPU/mL	0,084±0,008	0,120±0,006	0,084±0,004	0,320±0,004	0,093±0,006	0,028±0,006	0,056±0,006
Целлобиазная, FPU/mL Cellobiase, FPU/mL	0,056±0,005	0,280±0,045	0,032±0,004	0,180±0,020	0,032±0,004	0,032±0,004	0,032±0,004

Р 95

Культивирование при 30 °С.

Прирост численности клеток практически у всех штаммов за исключением КБП Y-6264 начинается примерно с 48-го ч культивирования. Численность клеток штамма КБП Y-6264 начинает расти с самого начала культивирования и достигает пика на 72-м ч культивирования, после чего их численность резко снижается и становится близкой к значениям численности клеток остальных штаммов к 144-му ч культивирования. Численность клеток КБП Y-6234 изменяется незначительно в течение всего исследуемого периода культивирования при данных условиях (рисунок 6).

Наибольшее значение удельной скорости роста и наименьшее время генерации также отмечено у штамма КБП Y-6264, однако наибольший прирост биомассы характерен для штамма КБП Y-6265 (таблица 5).

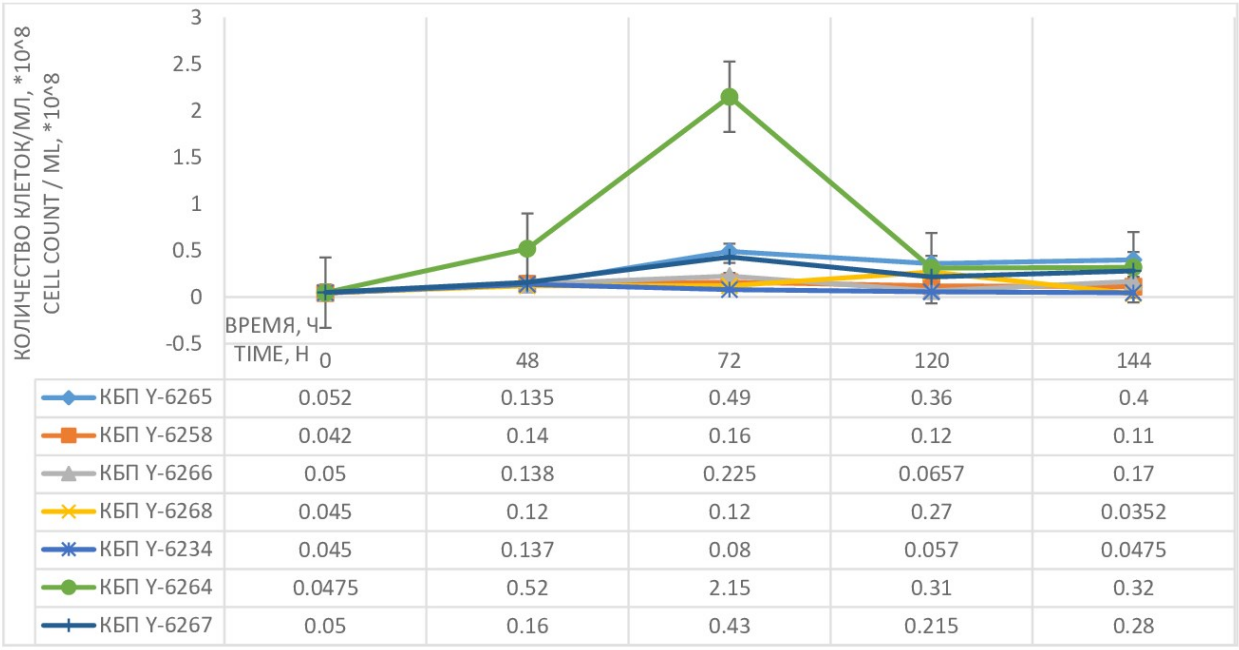


Рисунок 6. Влияние продолжительности культивирования на изменение количества клеток штаммов дрожжей *Lipomyces* при 30 °С

Figure 6. The effect of the duration of cultivation on the change in the number of cells of the yeast *Lipomyces* strains at 30 °C

Таблица 5.

Кинетические характеристики роста и выход биомассы при 30 °С

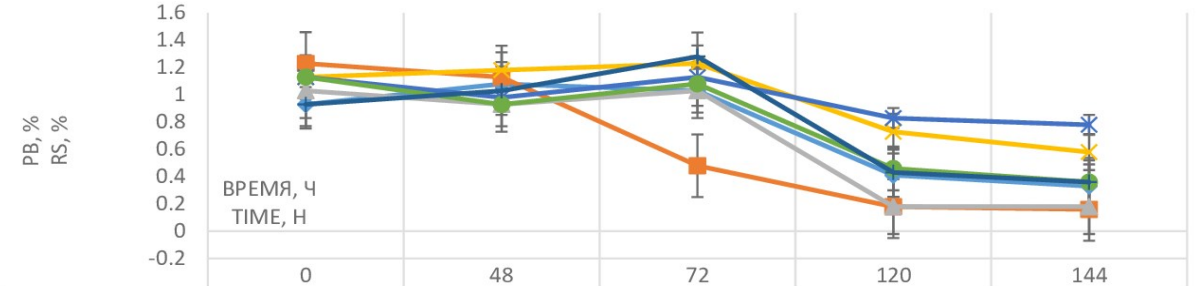
Table 5.

Kinetic characteristics of growth and biomass yield at 30 °C

Показатели Indicators	Штаммы | Strains						
	КБП Y-6265	КБП Y-6258	КБП Y-6266	КБП Y-6268	КБП Y-6234	КБП Y-6264	КБП Y-6267
Удельная скорость роста, $ч^{-1}$ | Specific growth rate, h^{-1}	0,054±0,004	0,040±0,007	0,034±0,005	0,054±0,005	0,040±0,003	0,195±0,015	0,128±0,003
Время генерации, ч Generation time, h	18,610±0,115	24,400±0,299	29,490±0,131	18,290±0,153	24,670±0,457	5,100±0,167	7,770±0,167
Выход биомассы, % Biomass yield, %	33,330±0,265	5,140±0,056	10,000±0,707	3,200±0,050	6,780±0,148	20,780±0,324	24,560±0,667

Р 95

Наибольшее потребление РВ питательной среды на 144-м ч культивирования характерно для штаммов КБП Y-6258, КБП Y-6266. Наибольшая остаточная концентрация РВ питательной среды характерна для штамма КБП Y-6234. Штаммы КБП Y-6265, КБП Y-6268, КБП Y-6264 и КБП Y-6267 по степени потребления РВ питательной среды занимают промежуточное положение (рисунок 7).



	0	48	72	120	144
ВКПМ Y-1899	0.93	1.08	1.03	0.41	0.33
ВКПМ Y-1013	1.23	1.13	0.48	0.18	0.16
ВКПМ Y-1895	1.03	0.93	1.03	0.18	0.18
ВКПМ Y-1997	1.13	1.18	1.23	0.73	0.58
Lipomyces	1.13	0.98	1.13	0.83	0.78
ВКПМ Y-1015	1.13	0.93	1.08	0.46	0.36
ВКПМ Y-1877	0.93	1.03	1.28	0.43	0.36

Рисунок 7. Изменение содержания редуцирующих веществ в питательной среде при культивировании дрожжей *Lipomyces* при температуре 30 °С

Figure 7. The change in the content of reducing substances in the substratum during the cultivation of *Lipomyces* yeast at a temperature of 30 °С

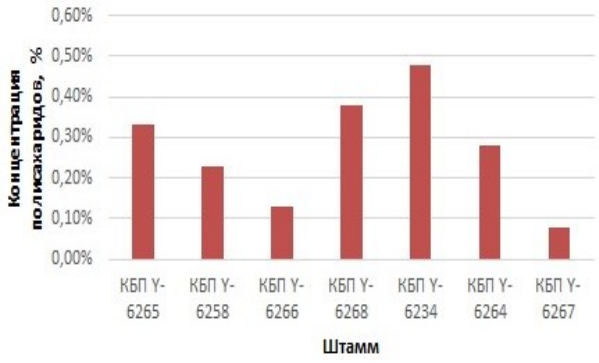


Рисунок 8. Концентрация внеклеточных полисахаридов при синтезе различными штаммами при 30 °С

Figure 8. Concentration of extracellular polysaccharides in the synthesis of different strains at 30 °С

Штамм КБП Y-6234 имеет наибольшую концентрацию внеклеточного полисахарида, несмотря на наименьший прирост численности клеток (рисунок 8). Также заметные концентрации внеклеточного полисахарида имеют штаммы КБП Y-6268, КБП Y-6265 и КБП Y-6264.

Штаммам КБП Y-6234 и КБП Y-6268, имеющим наибольшие концентрации внеклеточного полисахарида, свойственны наибольшие значения ксиланазной и целлюлазной активности, тогда как штаммам КБП Y-6264 и КБП Y-6265, имеющим наибольший прирост клеток и среднюю концентрацию полисахарида, характерны низкие значения ксиланазной и целлобиазной активности (таблица 6).

Таблица 6.

Ферментативная активность дрожжей *Lipomyces* при 30 °С

Table 6.

Enzymatic activity of the yeast *Lipomyces* at 30 °С

	Штаммы | Strains						
	КБП Y-6265	КБП Y-6258	КБП Y-6266	КБП Y-6268	КБП Y-6234	КБП Y-6264	КБП Y-6267
Ксиланазная, IU/mL Xylanase, IU/mL	0,013±0,003	0,013±0,002	0,013±0,002	0,039±0,005	0,065±0,012	0,013±0,002	0,013±0,002
Целлюлазная, FPU/mL Cellulase, FPU/mL	0,018±0,002	0,046±0,003	0,028±0,006	0,100±0,010	0,240±0,011	0,074±0,005	0,074±0,006
Целлобиазная, FPU/mL Cellobiase, FPU/mL	0,018±0,002	0,018±0,002	0,018±0,002	0,180±0,020	0,120±0,006	0,018±0,002	0,018±0,002

Р 95

Заключение

С точки зрения прироста биомассы на представленной питательной среде при исследуемых температурах наибольшее внимание привлекают штаммы дрожжей *Lipomyces lipofer* КБП Y-6267 и КБП Y-6265 (эффективный прирост при пониженных температурах). С повышением температуры прирост биомассы у этих дрожжей заметно снижается.

В качестве продуцентов внеклеточного полисахарида стоит отметить штаммы КБП Y-6267 и КБП Y-6264 при 20 °С и штаммы КБП Y-6268 и КБП Y-6234 при 30 °С, что указывает на возможность использования для этих целей разных видов рода *Lipomyces*.

При 30 °С штаммы *Lipomyces lipofer* КБП Y-6268 и *Lipomyces kononenkoae* КБП Y-6234 обладали наибольшими активностями ферментов, тем не менее, зависимости между активностями ферментов, приростами биомассы и выходами полисахарида при пониженных температурах отмечено не было.

ЛИТЕРАТУРА

1 Singh R.S., Saini G.K., Kennedy J.F. Pullulan: Microbial sources, production and applications // Carbohydrate Polymers. 2008. V. 73. P. 515–531. doi: 10.1016/j.carbpol.2008.01.003

2 Holck P., Sletmoen M., Stokke B.T., Permin H. et al. Potentiation of histamine release by microfungal (1–3) and (1–6) – beta-D-glucans // Basic Clin Pharmacol Toxicol. 2007. V. 101. № 6. P. 455–458. doi: 10.1111/j.1742-7843.2007.00140.x

3 Ghoneum M., Wang L., Agrawal S., Gollapudi S. Yeast therapy for the treatment of breast cancer: a nude mice model // In Vivo. 2007. V. 21. P. 251–258.

4 Yeast Biotechnology: Diversity and Applications; ed. T. Satyanarayana, G. Kunze. Springer, 2009. 746 p.

5 Oguri E., Masaki K., Naganuma T., Iefuji H. Phylogenetic and biochemical characterization of the oil-producing yeast *Lipomyces starkeyi* // Antonie van Leeuwenhoek. 2012. V. 101. № 2. P. 359–368. doi: 10.1007/s10482-011-9641-7

6 Freitas F., Alves V.D., Reis M.A. Advances in bacterial exopolysaccharides: from production to biotechnological applications // Trends in Biotechnology. 2011. P. 388–398. doi: 10.1016/j.tibtech.2011.03.008

7 Liu H., Zhao X., Wang F., Jiang X. et al. The proteome analysis of oleaginous yeast *Lipomyces starkeyi*. // FEMS Yeast Research. 2011. V. 11. № 1. P. 42–51. doi:10.1111/j. 1567–1364.2010.00687.x

8 Глушакова А.М., Качалкин А.В., Чернов И.Ю. Почвенные дрожжевые сообщества в условиях агрессивной инвазии борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*) // Почвоведение. 2015. № 2. С. 221–227.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Инназар А. Хусаинов ассистент, кафедра пищевой инженерии малых предприятий, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия, fortes16@yandex.ru

Евгений Р. Якубов студент, кафедра пищевой инженерии малых предприятий, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Россия, ул. Карла Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия, rescaolofe@gmail.com

Зося А. Канарская к.т.н., доцент, кафедра пищевой биотехнологии, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия,, zosya_kanarskaya@mail.ru

Альберт В. Канарский д.т.н., профессор, кафедра пищевой биотехнологии, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия, alb46@mail.ru

Ирина А. Максимова к.б.н., н.с., кафедра биологии почв, Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Ленинские горы, 1, г. Москва, 119991, Россия, maximova.irina@gmail.com

Алексей В. Качалкин к.б.н., в.н.с., кафедра биологии почв, Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Ленинские горы, 1, г. Москва, 119991, Россия, kachalkin_a@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 01.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 16.11.2018

REFERENCES

1 Singh R.S., Saini G.K., Kennedy J.F. Pullulan: Microbial sources, production and applications. Carbohydrate Polymers. 2008. vol. 73. pp. 515–531. doi: 10.1016/j.carbpol.2008.01.003

2 Holck P., Sletmoen M., Stokke B.T., Permin H. et al. Potentiation of histamine release by microfungal (1–3) and (1–6) – beta-D-glucans. Basic Clin Pharmacol Toxicol. 2007. vol. 101. no. 6. pp. 455–458. doi: 10.1111/j.1742-7843.2007.00140.x

3 Ghoneum M., Wang L., Agrawal S., Gollapudi S. Yeast therapy for the treatment of breast cancer: a nude mice model. In Vivo. 2007. vol. 21. pp. 251–258.

4 Yeast Biotechnology: Diversity and Applications; ed. T. Satyanarayana, G. Kunze. Springer, 2009. 746 p.

5 Oguri E., Masaki K., Naganuma T., Iefuji H. Phylogenetic and biochemical characterization of the oil-producing yeast Lipomyces starkeyi. Antonie van Leeuwenhoek. 2012. vol. 101. no. 2. pp. 359–368. doi: 10.1007/s10482-011-9641-7

6 Freitas F., Alves V.D., Reis M.A. Advances in bacterial exopolysaccharides: from production to biotechnological applications. Trends in Biotechnology. 2011. pp. 388–398. doi: 10.1016/j.tibtech.2011.03.008

7 Liu H., Zhao X., Wang F., Jiang X. et al. The proteome analysis of oleaginous yeast Lipomyces starkeyi. FEMS Yeast Research. 2011. vol. 11. no. 1. pp. 42–51. doi:10.1111/j. 1567–1364.2010.00687.x

8 Glushakova A.M., Kachalkin A.V., Chernov I.Y. Soil yeast communities in the context of aggressive invasion of the borshevik Sosnovsky (*Heracleum sosnowskyi*). *Pochvovedenie* [Soil science]. 2015. no. 2. pp. 221–227. (in Russian).

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Innazar A. Khusainov assistant, department of food engineering small enterprises, Kazan National Research Technological University, Karl Marx str., 68, Kazan, 420015, Russia, fortes16@yandex.ru

Evgeniy R. Yakubov student, department of food engineering small enterprises, Kazan National Research Technological University, Karl Marx str., 68, Kazan, 420015, Russia, rescaolofe@gmail.com

Zosya A. Kanarskaya Cand. Sci. (Engin.), associate professor, department of food biotechnology, Kazan National Research Technological University, Karl Marx str., 68, Kazan, 420015, Russia, zosya_kanarskaya@mail.ru

Albert V. Kanarskiy Dr. Sci. (Engin.), professor, department of food biotechnology, Kazan National Research Technological University, Karl Marx str., 68, Kazan, 420015, Russia, alb46@mail.ru

Irina A. Maximova Cand. Sci. (Biol.), researcher, department of soil biology, Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 1, Moscow, 119991, Russia, maximova.irina@gmail.com

Aleksey V. Kachalkin Cand. Sci. (Biol.), Leading Researcher, department of soil biology, Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 1, Moscow, 119991, Russia, kachalkin_a@mail.ru

CONTRIBUTION

All authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.1.2018

ACCEPTED 11.16.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 664.164.4

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-278-282

Разработка новой рецептуры фруктово-овощных пюре с медом и рисом для детского питания

Ырысбү Ж. Жумашова [1] yryska.rz@gmail.com
Жамила Н. Сманалиева [1] jamila.smanalieva@gmail.com

[1] Кыргызско-Турецкий университет «Манас», пр-т Ч. Айтматова, 56, г. Бишкек, 720042, Кыргызстан

Аннотация. Питание является одним из главных факторов, обеспечивающих нормальный рост и развитие ребенка. В Кыргызстане проживает около 160 298 детей в возрасте до 1 года, для которых необходимо специальное детское питание и эта потребность обеспечиваются только за счёт дорогих импортных продуктов. Целью исследования являлось разработка рецептур и технологии новых фруктово-овощных пюре для детского питания с использованием местного сырья. Для разработки нового продукта были выбраны яблоки, груша, тыква. Особенность новых рецептов заключается в использовании рисовой муки и меда, которые являются источником легкоусвояемых углеводов. Оптимальная рецептура была выбрана на основе результатов органолептического анализа. Изучены физико-химические и реологические характеристики пюре. Реологические параметры были получены с помощью реометра MCR-302. Кривые течения были получены при температурах 25, 35 и 45 °C. Анализ тиксотропии проводился путем расчета площади гистерезиса. Для описания кривой вязкости применяли уравнения Оствальда де Виля, Кессона и Бингама. Коэффициент достоверности аппроксимации уравнения Оствальда де Виля R^2=0.9936 ÷ 0.9998 был самым высоким, поэтому оно использовалось для рассчета реологических параметров. Добавление узгенского риса в рецептуру плодовых пюре умеренно повышает вязкость. Разработанные пюре благодаря сбалансированному содержанию углеводов и органических кислот, обладают хорошими вкусовыми свойствами. Содержания каротиноидов (провитамина А) составляет 0,676 мг %, что обеспечивает суточную норму. Все разработанные пюре рекомендуются в качестве прикорма для детей с 6 месячного возраста.

Ключевые слова: Детское питание, рецептура, пюре, мёд, рис, реология, Кыргызстан

Development of fruit and vegetable purees using honey and rice for infant nutrition

Yrysby J. Jumashova [1] yryska.rz@gmail.com
Jamila N. Smanalieva [1] jamila.smanalieva@gmail.com

[1] Kyrgyz-Turkish University “Manas”, Ch. Aytmatov Av., 56, Bishkek, 720042, Kyrgyzstan

Abstract. Nutrition is one of the most important factors that ensure normal child growth and development. In Kyrgyzstan there are about 160,298 children younger than 1 years of age, for whom special baby food is needed and this need is provided only by expensive imported products. The purpose of the study is to develop recipes and technology of new fruit and vegetable purees for baby food using local raw materials; determination of the basic physicochemical parameters of a new product. As objects of research were selected apple, pear, pumpkin, potatoes. Rheological properties were obtained by shear rate scan tests in a rotational rheometer, with geometry of concentric cylinders in temperatures of 25, 35, 45°C. The thixotropy analysis was made through the calculation of the difference between the areas under up and down cycles' flow curves. In order to describe the rheological behavior of beverage, the flow curves were modeled using equations such as Herschel-Bulkley, Casson, and Ostwald-De-Waele. Based on the values of correlation coefficients and variance of the estimated parameters, Ostwald-De-Waele model was chosen for fitting of experimental data. A special feature of new recipes is the use of uzgen rice (local variety of rice) flour and honey. These ingredients give purees the texture and consitency required for children. Developed canned food due to the balanced content of carbohydrates and organic acids have good sensory properties. The content of carotenoids (pro vitamin A) is 0.4 mg%, which provides a daily rate. All designed purees are recommended as a breakfast purees for babies from 6 to 24 months.

Keywords: Baby food, recipes, puree, honey, rice, Kyrgyzstan

Введение

Питание является одним из главных факторов, обеспечивающих нормальное течение процессов роста и развития ребенка. Грудное вскармливание рекомендуется в течение первых 6 месяцев жизни, но с этого времени необходимо дополнительное питание. Введение дополнительного питания является важным моментом в росте ребенка, влияет на формирование здоровья [1, 2].

В Кыргызстане проживает около 160 298 детей в возрасте до 1 года [3], для которых необходимо специальное детское питание, и эта потребность обеспечивается только за счёт дорогих импортных продуктов. В то же время сырьевая база в республике позволяет производить высококачественную продукцию для детского питания [4], однако не существует ни одного завода по производству детского питания.

Проблема обеспечения детей продуктами питания может быть решена при разработке и выпуске функциональных и конкурентоспособных отечественных продуктов с использованием новых источников сырья, способных покрыть дефицит незаменимых пищевых веществ [5, 6].

Для цитирования

Жумашова Ы.Ж., Сманалиева Ж.Н. Разработка новой рецептуры фруктово-овощных пюре с медом и рисом для детского питания // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 278–282. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-278-282

For citation

Jumashova Y.J., Smanalieva J.N. Development of fruit and vegetable purees using honey and rice for infant nutrition. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 278–282. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-278-282

При разработке новых продуктов для детей до 1 года следует обратить внимание на рекомендации международных организаций. Возраст введения твердой пищи согласно международной литературе [7, 8] составляет от 17 до 26 недель (4–6 месяцев). У младенцев ежедневное потребление энергии в калориях составляет 70–75 ккал/кг в сутки. Рекомендуемое ежедневное потребление углеводов варьируется от 45 до 60% от общего количества калорий. Разрешено использование в питании младенцев простых крахмалосодержащих продуктов таких, как, хлеб, макароны, рис, кукуруза, овес, ячмень, а также картофель. Рекомендуется умеренное потребление бобовых, фруктов и овощей. Количество потребления жиров составляет 25–40% от общего количества калорий [8].

Фруктовое пюре является одним из самых ранних продуктов в рационе младенцев. Реологические характеристики вместе с сенсорными являются решающими факторами для принятия ребенком пищевого продукта. Консистенция пищи для младенцев должна быть жидкой, гомогенной, чтобы они не вызывали трудностей при глотании [8, 9].

Приведены данные по разработке рецептуры и исследованию физико-химических показателей новых фруктово-овощных пюре для детского питания с использованием местного сырья.

Материалы и методы

Объектами исследования для создания функциональных продуктов питания были выбраны яблоки, груша, тыква, морковь, узгенский рис, а также мёд.

Определение содержания сухих веществ проводили по ГОСТ 8756.2; общей и титруемой кислотности – по ГОСТ 8756.16. Количество углеводов находили феррицианидным методом, основанным на окислении сахаров оксидом железа (III) (ГОСТ 8756.13–87). Содержание витамина С находили по ГОСТ 24556–89. Метод основывается на окислительно-восстановительных реакциях с натриевой солью 2,6-дихлорфенолиндофенола. Исследование количества каротиноидов основано на определении оптической плотности спиртовой вытяжки при длине волны $\lambda = 450$ нм.

Измерения реологических параметров осуществляли с помощью абсолютного реометра MCR-302 (Anton Paar, Austria) с использованием рифлёного измерительного тела Z3 DIN. Кривые течения были получены при температурах 25, 35 и 45 °С. Скорость сдвига в 1-м интервале увеличивалась от 0,2 до 50$с^{-1}$, во 2-м была постоянной 50 $с^{-1}$, в 3-м уменьшалась от 50 до 0,2 $с^{-1}$.

Результаты и обсуждение

Технологическая схема производства фруктово-овощных пюре включает подготовку растительного сырья: сортировка по качеству, мойка, отчистка от несъедобных частей, бланшировка паром, измельчение, протирание. Полученные пюре-полуфабрикаты купажировали в соотношениях, при которых обеспечивается гармоничный вкус, запах и цвет. Рецептуры разработанных фруктово-овощных пюре представлены в таблице 1. Особенность новых рецептов заключается в замене сахара рисовой мукой (4%) и медом (8–12%), которые придают продуктам гармоничный вкус и нежную консистенцию. После купажирования продукты подогревали, гомогенизировали, после деаэрации фасовали в тару (100 мл), укупоривали и стерилизовали при 100 °С, 20 мин.

Таблица 1.

Рецептуры разработанных фруктово-овощных пюре, %

Table 1.

Formulations developed fruit and vegetable purees, %

Наименование пюре | Name of puree	Яблоки | Apples	Груша | Pear	Тыква | Pumpkin	Мед | Honey	Рисовая мука | Rice Flour
Яблочно-грушевое пюре с медом | Apple and pear puree with honey	48	44	0	8	0
Яблочно-тыквенное пюре с медом | Apple and pumpkin puree with honey	56	0	32	12	0
Яблочно-грушевое пюре с рисом | Apple and pear puree with rice	48	48	0	0	4
Яблочно-тыквенное пюре с рисом | Apple-pumpkin puree with rice	52	0	44	0	4

Таблица 2.

Физико-химические показатели разработанных фруктово-овощных пюре для детского питания

Table 2.

Physicochemical parameters of the developed fruit and vegetable puree for baby food

Наименование пюре Name of puree	Сухие вещества, % Dry matter content, %	Кислотность титруемая, % Titratable acidity, %	Инвертный сахар, % Invert sugar, %	Сахароза, % Sucrose, %	pH	Витамин С, мг / 100г Vitamin C, mg / 100 g	Каротины, мг / 100 г Carotenes, mg / 100 g
Яблочно-грушевое пюре с медом Apple and pear puree with honey	20,83*	0,35	10,19	1,51	4,40	2,46	0,022
Яблочно-тыквенное пюре с медом Apple and pumpkin puree with honey	23,66	0,31	11,22	2,19	4,18	3,27	0,497
Яблочно-грушевое пюре с рисом Apple and pear puree with rice	15,22	0,34	5,91	1,14	4,01	2,02	0,023
Яблочно-тыквенное пюре с рисом Apple-pumpkin puree with rice	12,49	0,35	4,66	0,89	4,40	2,69	0,676

*В таблице даны средние значения трех параллельных определений; стандартное отклонение SD < 0,5.

*The parameters are reported as the mean and standard deviation (SD =< 0.5) of three independent measurements.

Из таблицы 2 видно, что химический состав отдельных пюре отличается по содержанию сухих веществ, углеводов, кислотности, витамина С и каротиноидов. Сухие вещества находятся в пределах 12,49–23,66%. Как видно из таблицы 2, преобладающими в химическом составе пюре являются углеводы, которые представлены моно- и дисахарами. Самое высокое содержание углеводов обнаружено в яблочно-тыквенном пюре с медом – 13,52% и в яблочно-грушевом пюре с медом – 11,70%. Это объясняется тем, что в рецептуру этих пюре входит мед в количестве 12 и 8% соответственно. Умеренное количество сахаров имеет пюре с узгенским рисом. Из общего количества углеводов около 80–85% приходится на моносахара, количество сахарозы составляет от 0,89 до 2,19%. Титруемая кислотность является одним из самых важных показателей, от нее зависит гармоничный вкус продукта. Количество органических кислот в разработанных пюре составляет от 0,31 до 0,35%, что не превышает нормы 0,6%. Разработанные пюре содержат от, 0,2 до 3,49% витамина С, а также 0,02–0,68 мг% каротиноидов.

Результаты реологических измерений

Кривые, полученные при реологических измерениях яблочно-грушевого пюре с медом (№ 1), представлены на рисунке 1.

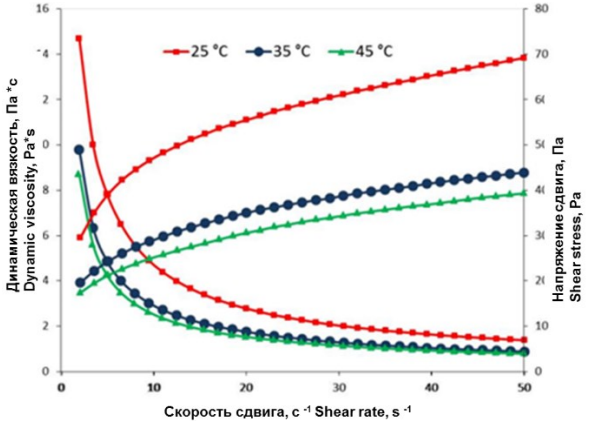


Рисунок 1. Зависимость вязкости и напряжения сдвига от скорости сдвига при температурах 25, 35 и 45 °С.

Figure 1. Effective viscosity and shear stress versus shear rate of new purees at different temperatures 25, 35 and 45 °C

Кажущаяся вязкость (η) исследованного продукта снижалась резко в диапазоне скорости сдвига от 0,02 до 10,00 $с^{-1}$, что показывает разрушение структуры. Затем кривые вязкости имеют участки плавного перехода к почти постоянной вязкости. Касательное напряжение (τ) в конце достигает 69,2; 43,9; 39,3 Па соответственно при 25, 35 и 45 °С. Таким образом, все разработанные пюре в диапазоне скорости сдвига от 2 до 50 $с^{-1}$ продемонстрировали ярко выраженные неньютоновские свойства. Для описания кривой вязкости в данном диапазоне скоростей сдвига применяли уравнения

Оствальда де Виля, Кессона и Бингама. Среди этих уравнений наиболее точно описывает уравнение (1) Оствальда де Виля с коэффициентом достоверности аппроксимации $R^2 = 0.9936 \div 0.9998$:

$$\tau = K\gamma', \qquad (1)$$

где τ – напряжение сдвига, Па; K – коэффициент консистенции, зависящий от природы материала; γ' – скорость деформации, $с^{-1}$; n – индекс течения.

Реологические параметры, рассчитанные по уравнению Оствальда, представлены в таблице 3. Коэффициент консистенции K является мерой внутреннего трения и во многом зависит от содержания сухих веществ и структуры системы. Коэффициент консистенции образцов с рисовой мукой намного выше по сравнению с образцами с медом. Степень текучести образцов находится в пределах 0,24÷0,35. Как известно, чем больше степень текучести n отклоняется от единицы, тем сильнее зависимость вязкости жидкости от скорости сдвига [10]. Исследование тиксотропных свойств проводилось измерением площади гистерезиса (НА) между кривыми первого и третьего интервалов. Площадь гистерезиса уменьшается с увеличением температуры. Наибольший эффект воздействия температуры на реологические показатели наблюдается при снижении температуры с 25 на 35 °С (рисунок 2).

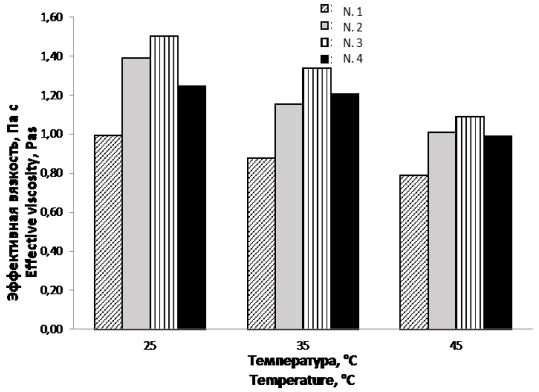


Рисунок 2. Эффективная вязкость новых пюре при различных температурах.

Figure 2. Effective viscosity of new purees at different temperatures

Таблица 3.

Реологические параметры разработанных фруктово-овощных пюре, рассчитанные по уравнению Оствальда

Table 3.

Rheological parameters of the developed fruit and vegetable purees, calculated according to the Ostwald equation

Наименование пюре Name of puree	Температура, °С Temperature, °С	K, Па·с^n K, Pa·s^n	n	R^2	H_A, Па/с H_A, Pa/s	$\eta_{эфф}$ (50/с) Па·с | Pa·s
Яблочно-грушевое пюре с медом Apple and pear puree with honey	25	19,40	0,24	0,9987	169,72	0,99
	35	16,24	0,25	0,9998	95,58	0,88
	45	13,93	0,27	0,9980	113,40	0,78
Яблочно-тыквенное пюре с медом Apple and pumpkin puree with honey	25	25,96	0,25	0,9971	486,86	1,39
	35	18,61	0,29	0,9956	415,64	1,15
	45	15,07	0,31	0,9961	348,41	1,01
Яблочно-грушевое пюре с рисом Apple and pear puree with rice	25	28,81	0,25	0,9980	451,95	1,51
	35	23,74	0,27	0,9977	428,63	1,34
	45	17,72	0,28	0,9982	292,57	1,09
Яблочно-тыквенное пюре с рисом Apple-pumpkin puree with rice	25	22,77	0,26	0,9958	458,02	1,24
	35	19,50	0,29	0,9936	403,20	1,20
	45	14,14	0,32	0,9946	340,09	0,99

В таблице даны средние значения трех параллельных определений; стандартное отклонение SD < 0,25.
The rheological parameters are reported as the mean and standard deviation (SD = 0.01) of three independent measurements.

Заключение

Разработанные пюре благодаря сбалансированному содержанию углеводов и органических кислот обладают хорошими вкусовыми свойствами. Содержание каротина (провитамина А) составляет 0,68 мг%, что обеспечивает суточную норму. Использование меда вместо традиционного сахара улучшает вкус. Реологические показатели характеризуют консистенцию обоих видов пюре при напряжении сдвига ($\tau_г$) от 39,3 до 69,2 Па как стабильную: эффективная вязкость ($\eta_{эфф}$) при 25 °С от 0,99 до 1,51 Па·с. Использование узгенского риса умеренно повышает вязкость пюре, в то же время не затрудняет глотание продукта. Таким образом, все разработанные пюре являются сбалансированным прикормом для детей с 6-месячного возраста.

ЛИТЕРАТУРА

1 Dewey K.G., Vitta B.S. Strategies for ensuring adequate nutrient intake for infants and young children during the period of complementary feeding // Alive and Thrive Technical Brief. 2013. № 7. P. 1–14.

2 Melo R., Gellein K., Evje L. et al. Minerals and trace elements in commercial infant food // Food and chemical toxicology. 2008. V. 46. № 10. P. 3339–3342.

3 Демографический ежегодник Кыргызской Республики: 2012–2016. Бишкек: Нацстатком Кыргызской Республики, 2017, 322 с.

4 Джурупова Б.К., Сманалиева Ж.Н. Совершенствование технологии производства функционального продукта из дикорастущего сырья Кыргызской Республики. // Хранение и переработка сельхозсырья. 2016. № 9. С. 36–39.

5 Osendarp S.J.M., Broersen B., van Liere M.J. et al. Complementary feeding diets made of local foods can be optimized, but additional interventions will be needed to meet iron and zinc requirements in 6- to 23-month-old children in low- and middle-income countries // Food and Nutrition Bulletin. 2016. V. 37. № 5. P. 544–570.

6 Семенова В.П., Шатнюк Л.Н. Обеспечение детей раннего возраста продуктами питания – общегосударственная задача // Пищевая промышленность. 1995. № 6. С. 2–3.

7 Спиричев, В.Б. Обогащение пищевых продуктов микронутриентами: научные принципы и практические решения. // Пищевая промышленность. 2010. № 4. С. 20–24.

8 Agostoni C., Bergman R., Bresson J.-L., Michaelsen K.F. et al. Scientific Opinion on the appropriate age for introduction of complementary feeding of infants // EFSA Journal. 2009. V. 7 № 12. P. 1423–1461. doi: 10.2903/j.efsa.2009.1423

9 Inarejos-Garcia A.M., Mancebo-Campos V., Canizares P., Llanos J. Physical-Chemical Characterization of Fruit Purees and Relationship with Sensory Analysis Carried out by Infants (12 to 24 mo) // Journal of Food Science. 2015. V. 80. № 5. P. E1005-E1011. doi: 10.1111/1750-3841.12860

10 Krokida M.K., Maroulis Z.B., Saravacos G.D. Rheological properties of fluid fruit and vegetable puree products: Compilation of literature data // International Journal of Food Properties. 2001. V. 4(2). P. 179–200.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ырысбү Ж. Жумашова магистрант, кафедра пищевой инженерии, Кыргызско-Турецкий университет «Манас», пр-т Ч. Айтматова, 56, г. Бишкек, 720042, Кыргызстан, yryska.rz@gmail.com

Жамила Н. Сманалиева к.т.н., доцент, кафедра пищевой инженерии, Кыргызско-Турецкий университет «Манас», пр-т Ч. Айтматова, 56, г. Бишкек, 720042, Кыргызстан, jamila.smanalieva@gmail.com

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Ырысбү Ж. Жумашова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперименты, выполнила расчёты
Жамила Н. Сманалиева консультация в ходе исследования, написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 26.10.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 03.12.2018

REFERENCES

1 Dewey K.G., Vitta B.S. Strategies for ensuring adequate nutrient intake for infants and young children during the period of complementary feeding. Alive and Thrive Technical Brief. 2013. no. 7. pp. 1–14.

2 Melo R., Gellein K., Evje L. et al. Minerals and trace elements in commercial infant food. Food and chemical toxicology. 2008. vol. 46. no. 10. pp. 3339–3342.

3 Demograficheskij ezhegodnik Kyrgyzskoj Respubliki: 2012–2016 [Demographic yearbook of the Kyrgyz Republic: 2012–2016]. Bishkek, National Statistical Committee of the Kyrgyz Republic, 2017. 322 p. (in Russian)

4 Djurupova B.K., Smanalieva J.N. Improving the Technology of Production of Functional Product from Wild Raw Materials of the Kyrgyz Republic. *Hranenie i pererabotka selhozsyrja* [Storage and processing of farm products]. 2016. no. 9. pp. 36–39. (in Russian).

5 Osendarp S.J.M., Broersen B., van Liere M.J. et al. Complementary feeding diets made of local foods can be optimized, but additional interventions will be needed to meet iron and zinc requirements in 6- to 23-month-old children in low- and middle-income countries. Food and Nutrition Bulletin. 2016. vol. 37. no. 5. pp. 544–570.

6 Semenova V.P., Shatnyuk L.N. Providing young children with food – a national task. *Pishevaja promyshlennost* [Food industry]. 1995. no. 6. pp. 2–3. (in Russian)

7 Spirichev V.B. Food fortification with micronutrients: scientific principles and practical solutions. *Pishevaja promyshlennost* [Food industry]. 2010. no. 4. pp. 20–24, (in Russian).

8 Agostoni C., Bergman R., Bresson J.-L., Michaelsen K.F. et al. Scientific Opinion on the appropriate age for introduction of complementary feeding of infants. EFSA Journal. 2009. vol. 7. no. 12. pp. 1423–1461. doi: 10.2903/j.efsa.2009.1423

9 Inarejos-Garcia A.M., Mancebo-Campos V., Canizares P., Llanos J. Physical-Chemical Characterization of Fruit Purees and Relationship with Sensory Analysis Carried out by Infants (12 to 24 mo). Journal of Food Science. 2015. vol. 80. no. 5. pp. E1005 E1011. doi: 10.1111/1750-3841.12860

10 Krokida M.K., Maroulis Z.B., Saravacos G.D. Rheological properties of fluid fruit and vegetable puree products: Compilation of literature data. International Journal of Food Properties. 2001. vol. 4(2). pp. 179–200

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Yrysby J. Jumashova master student, food engineering department, Kyrgyz-Turkish University “Manas”, Ch. Aytmatov Av., 56 Bishkek, 720042, Kyrgyzstan, yryska.rz@gmail.com

Jamila N. Smanalieva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food engineering department, Kyrgyz-Turkish University “Manas”, Ch. Aytmatov Av., 56 Bishkek, 720042, Kyrgyzstan, jamila.smanalieva@gmail.com

CONTRIBUTION

Yrysby J. Jumashova review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations conducted an experiment
Jamila N. Smanalieva consultation during the study review of the literature on an investigated problem, wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.26.2018

ACCEPTED 12.3.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 637.131.8

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-283-287

Технология производства йогурта функционального назначения, обогащенного смесью сухого порошка пророщенной пшеницы и пюре из черники и голубики

Рубен В. Гиноян [1] r.ginojan@yandex.ru
Наталья Е. Назарова [1] nazarova-nnsaa@mail.ru
Юлия Н. Бондарева [1] juliabondareva-1976@yandex.ru

[1] Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, пр-т Гагарина, 97, г. Нижний Новгород, 603107, Россия

Аннотация. Употребление кисломолочных продуктов и напитков, содержащих полезные для здоровья вещества - эффективное средство укрепления защитных функций организма человека. Разработка новых продуктов должна базироваться на обоснованном выборе ингредиентов, формирующих их состав и свойства. Одним из наиболее актуальных направлений в разработке технологии функциональных кисломолочных продуктов, том числе йогуртов, является выявление и использование перспективных видов традиционных растительных культур и дикорастущего плодово-ягодного сырья. Цель данной работы - исследование влияния различных доз смеси суспензии сухого порошка пророщенной пшеницы и пюре из ягод черники и голубики на органолептические показатели, отдельные физико-химические свойства и безопасность йогурта. Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Нижегородская ГСХА». При проведении работы использовался комплекс общепринятых стандартных методов исследования. Объекты исследования - образцы йогурта термостатного с различными дозами внесенных компонентов: 1,0; 1,5; 2,0; 2,5% суспензии порошка пророщенной пшеницы и 5,0; 7,0; 9,0; 11,0; 13,0% пюре из ягод черники и голубики (1,5:1,0). Сквашивание проводили с применением сухой закваски YO-MIX™ 495 LYO 100 DCUDaniscoCultures. По результатам исследования разработан и оптимизирован компонентный состав йогурта, подобраны доза, стадия и способ внесения в молочную смеси добавок, проведены экспериментальные исследования по корректировке и последовательности технологических режимов изготовления конкретной группы образцов йогурта. Оптимальная доза внесения суспензии порошка пророщенной пшеницы в молочную смесь составила 1,5%, пюре из ягод черники и голубики (1,5:1,0) – 7,0%. В полученном обогащённом образце содержание углеводов возрастает до 5,40–5,45%, содержание витамина С до 3,65–3,75 мг/%. Йогурт соответствует требованиям, установленным ТР ТС 021/2011, ТР ТС 033/2013 и ГОСТ 31981.

Ключевые слова: йогурт функционального назначения, пророщенная пшеница, пюре из черники и голубики, органолептический анализ, ингредиент, антоцианы, флавоноиды, водо- и жирорастворимые витамины, полиненасыщенные жирные кислоты.

The production technology of functional yoghurt, enriched with a mixture of dry wheat germ powder and bilberries and blueberries puree

Ruben V. Ginoyan [1] r.ginojan@yandex.ru
Natal'ya E. Nazarova [1] nazarova-nnsaa@mail.ru
Yuliya N. Bondareva [1] juliabondareva-1976@yandex.ru

[1] Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Gagarin Av., 97 Nizhny Novgorod, 603107, Russia

Abstract. The use of dairy products and beverages containing substances useful for health is an effective means of strengthening the protective functions of the human body. The development of new products should be based on a reasonable selection of ingredients that form their composition and properties. One of the most relevant areas in the technology development of functional dairy products, including yogurt, is the identification and use of promising types of traditional plant crops and wild fruit and berry raw materials. The purpose of this work is to study the effect of different doses of a mixture of dry powder suspension of sprouted wheat, and mashed bilberries and blueberries on organoleptic characteristics, individual physical and chemical properties and safety of yogurt. The work is done in of the "Nizhny Novgorod State Agricultural Academy". While the research, a set of generally accepted standard research methods was used. Objects of research are samples of yogurt thermostatic with different doses of the components: 1.0; 1.5; 2.0; 2.5% of suspension of powder of sprouted wheat and 5.0; 7.0; 9.0; 11.0; 13.0% mashed bilberries and blueberries (1.5: 1.0). The fermentation was performed using dry starter cultures YO-MIX 495 LYO 100 DCU, Danisco Cultures. According to the results of a study designed and optimized component composition of yoghurt, selected dose, the stage and method of making milk of a mixture of additives, experimental studies on adjustment and sequence of technological modes of production of a particular group of samples of yoghurt. Optimal application dose of suspension of sprouted wheat powder in milk mixture amounted to 1.5%, puree of bilberries and blueberries(1.5:1.0) of 7.0%. In the obtained enriched sample the content of carbohydrates increases to 5.40–5.45%, the content of vitamin C-to 3.65-3.75 mg/%. Yogurt meets the requirements established CU TR 021/2011, CU TR 033/2013 and GOST 31981.

Keywords: functional yogurt, sprouted wheat, mashed bilberries and blueberries puree, organoleptic analysis, ingredient, anthocyanins, flavonoids, water-and fat-soluble vitamins, polyunsaturated fatty acids.

Введение

Одним из наиболее перспективных и актуальных направлений в разработке технологии функциональных кисломолочных продуктов, в том числе йогуртов, является выявление и использование перспективных компонентов среди традиционно культивируемых растительных культур из дикорастущего плодово-ягодного сырья [10, 12].

Для цитирования

Гиноян Р.В., Назарова Н.Е., Бондарева Ю.Н. Технология производства йогурта функционального назначения, обогащенного смесью сухого порошка пророщенной пшеницы и пюре из черники и голубики //Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 283–287. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-283-287

For citation

Ginoyan R.V., Nazarova N.E., Bondareva Yu.N. The production technology of functional yoghurt, enriched with a mixture of dry wheat germ powder and bilberries and blueberries puree. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 283–287. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-283-287

Употребление кисломолочных продуктов и напитков, содержащих полезные для здоровья вещества, является эффективным средством укрепления защитных функций организма человека при условии, что разработка технологий новых функциональных продуктов включает обоснованный выбор ингредиентов, формирующих их состав и свойства [1, 2, 7–9].

Цель работы – исследование влияния различных доз смеси суспензии сухого порошка пророщенной пшеницы и пюре из ягод черники и голубики, имеющих широкое распространение в природе Нижегородской области, на органолептические показатели, отдельные физико-химические свойства и безопасность йогурта.

Пророщенные зёрна пшеницы служат источником поступления в организм в естественных сбалансированных количествах и сочетаниях следующих веществ: белков, жиров, водо- и жирорастворимых витаминов, минеральных веществ, пищевых волокон, полиненасыщенных жирных кислот и других биологически активных веществ [3–5].

Регулярное использование в рационе питания человека пророщенных зёрен способствует улучшению обмена веществ, укрепляет иммунную систему, оказывает благотворное влияние на нервную, кровеносную, пищеварительную и опорно-двигательную системы.

Ягоды черники и голубики – источник ценных пищевых и биологически активных веществ различного фармакологического действия. Содержащиеся в плодах витамины А, С, Е, антоцианы, флавоноиды, а также микроэлементы (цинк, медь, селен, марганец) оказывают антиоксидантное действие. Фенольные вещества и флавоноиды преобладают в пюре именно этих ягод (691 мг галловой кислоты/100 г исходного сырья и 231мг катехина/100 г сырья соответственно). Растительные гормоны – фитоэстрогены предохраняют организм от атеросклероза и болезней сердца, снижая уровень «плохого» холестерина. Эллаговая и фолиевая кислоты препятствуют развитию новообразований. Растительные волокна черники и голубики связывают канцерогены, способствуя их быстрому выведению из организма. Содержащийся в плодах черники и голубики гликозид миртиллин эффективно снижает содержание сахара в крови. Дубильные вещества, входящие в их состав, придают вяжущий вкус и останавливают гнилостное брожение в кишечнике. Они восстанавливают запасы железа в организме, улучшают работу сердечной мышцы, предупреждают образование тромбов и возникновение инфаркта миокарда. Антиоксидантные свойства ягод черники и голубики замедляют процессы старения организма, а содержащиеся в них биофлавоноиды защищают мембраны сосудов и капилляров, улучшая микроциркуляцию крови, что особенно важно для хрусталика глаза и сетчатки. Благодаря этим факторам употребление в пищу ягод черники и голубики способствует укреплению зрения и повышению его остроты. При этом ягоды низкокалорийны и гипоаллергенны, имеют превосходный десертный вкус [6, 11].

Объекты и методы

Объектами исследования были образцы йогуртов, обогащённых растительными компонентами, – суспензией из порошка пророщенных зерен пшеницы (урожай 2017 года, Нижегородская область) и пюре из дикорастущих ягод черники и голубики (собраны в северных районах Нижегородской области). При изготовлении экспериментальных образцов йогурта в нормализованную по массовой доле жира (2,5%) и белка (3,2%) молочную смесь вносили различные дозы (1,0; 1,5; 2,0; 2,5%) суспензии из сухого порошка пророщенной пшеницы после гидротермической обработки. Сухую закваску YO-MIX™ 495 LYO 100 DCU DaniscoCultures, состоящую из термофильных молочных стрептококков и болгарской палочки (*Streptococcusthermophilus* и *Lactobacillus Bulgaricus*), вносили в молочную смесь в объеме, установленном в инструкции заквасочной культуры. Зерна пророщенной пшеницы перед измельчением в порошок были подвергнуты тепловой обработке при температуре 95–105 °С в течение 3–5 мин для обеспечения микробиологической безопасности. Тепловая обработка способствовала существенным изменениям углеводов, в том числе крахмала, содержащихся в порошке пшеницы, что положительно повлияло на процесс растворимости растительных ингредиентов в молоке.

Для изготовления экспериментальных образцов йогурта резервуарным способом было использовано молоко коровье пастеризованное по ГОСТ 32922 с массовой долей жира 2,5% и белка 3,2%. Суспензию из сухого порошка пророщенной пшеницы вносили в молочную смесь в дозах: 1,0; 1,5; 2,0; 2,5% через 3 мин после внесения закваски. После внесения закваски и суспензии в смесь её выдерживали при температуре 37 °С в течение 8–10 ч до образования сгустка с кислотностью 70–75°Т. После перемешивания сгустка и охлаждения в готовый йогурт вносили различные дозы (5; 7; 9; 11; 13%) пюре из ягод черники и голубики.

Исследования экспериментальных образцов йогурта по органолептическим и микробиологическим показателям, а также ряду физико-химических показателей проводились в 2017–2018 гг. на базе кафедры «Товароведение и переработка продукции животноводства»

Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. При проведении работы использовался комплекс общепринятых стандартных методов исследования.

Эксперименты проводились в 5-кратной повторности. Обработка результатов измерений проводилась с помощью стандартных методов математической статистики с использованием MS Excel. Рассчитан для оценки достоверности полученных результатов критерий – t >2. Таким образом, изменение исследуемых показателей обусловлено внесением функциональных добавок.

Результаты и обсуждение

При создании рецептуры комбинированного йогурта разработан и оптимизирован компонентный состав, подобраны доза, стадия и способ внесения в молочную смесь суспензии порошка пророщенных зерен пшеницы и пюре из ягод черники и голубики. Проведены экспериментальные исследования по корректировке и последовательности технологических режимов изготовления конкретной группы образцов йогурта, обогащенного растительными компонентами.

Средние значения балльной оценки органолептических показателей экспериментальных образцов йогурта, произведенного по предлагаемой рецептуре, определяли преподаватели и специалисты смежных кафедр факультета перерабатывающих технологий Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, многие из которых имеют большой опыт практической работы в пищевой промышленности. По результатам органолептической оценки образцов йогуртов специалистами-дегустаторами было установлено, что оптимальная доза внесения суспензии порошка пророщенной пшеницы в молочную смесь – 1,5%, пюре из ягод черники и голубики (при соотношении 1,5:1,0 соответственно) – 7,0%. В этом случае продукт имеет устойчивую структуру, приятный вкус и аромат внесённых компонентов.

Полученные значения дозировок функциональных компонентов были использованы для корректировки технологической схемы получения йогурта (рисунок 1).

Органолептический анализ йогурта проводился по 20-балльной шкале. Описание органолептических характеристик йогурта с функциональными свойствами и средняя балльная оценка представлены в таблице 1.

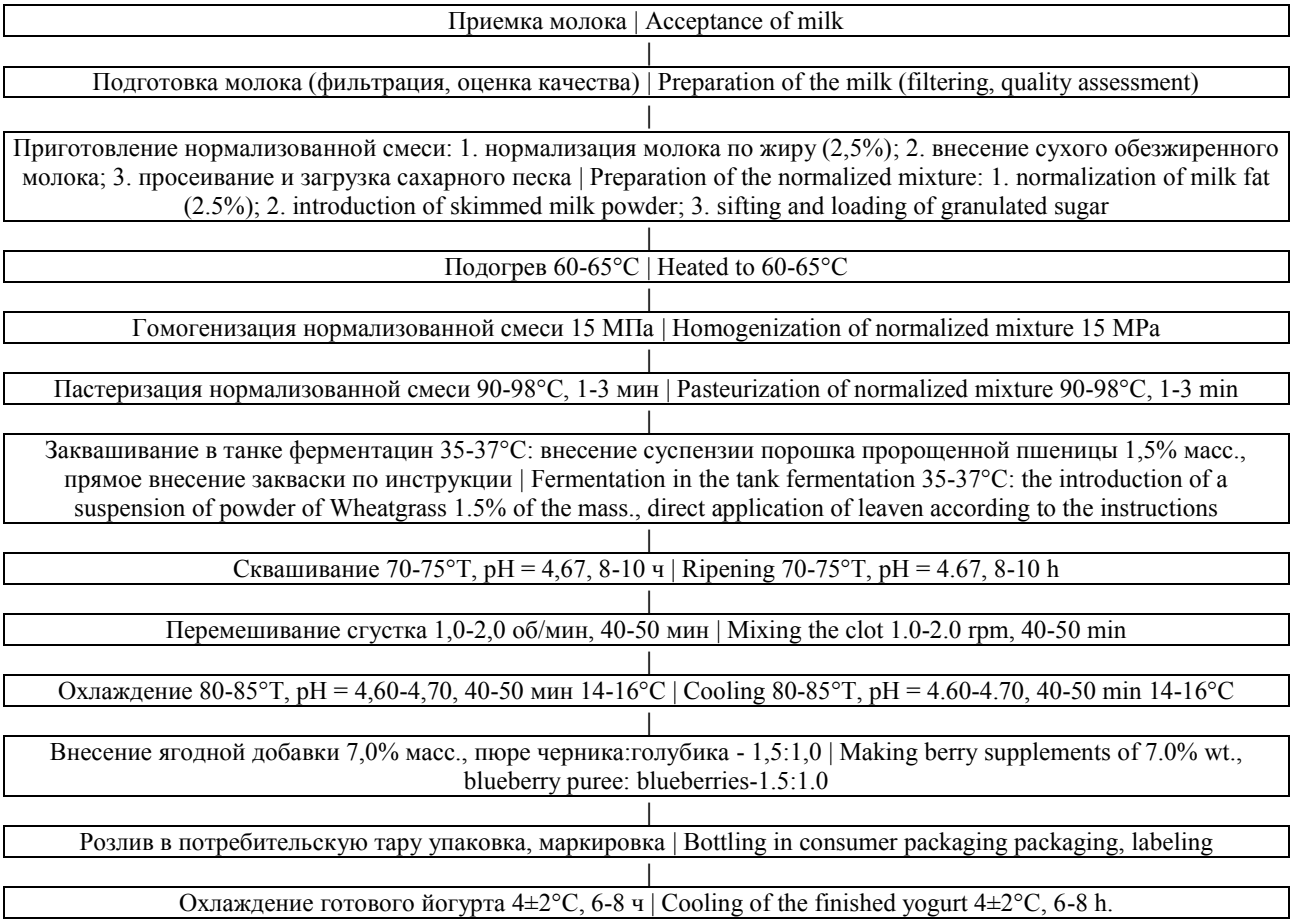


Рисунок 1. Технологическая схема изготовления йогурта функционального назначения резервуарным способом

Figure1. Technological scheme for the production of functional yoghurt by the tank method

Таблица 1.

Органолептическая характеристика йогурта функционального назначения

Table1.

Organoleptic characteristics of functional yogurt

Наименование показателя Name of the indicator	Характеристика Characteristic	Среднее значение балльной оценки The average value of the scoring
Внешний вид и консистенция Appearance and consistency	Однородная смесь, с нарушенным сгустком, с визуальным наличием тонкоизмельченных нерастворимых частиц порошка пророщенной пшеницы, ягод черники и голубики, без неприятных ощущений и твердых включений Homogeneous mixture, with the visual presence of finely crushed insoluble particles of wheat germ powder, bilberries and blueberries, without the unpleasant sensations of solid inclusions	5,0
Вкус и запах Taste and smell	Характерные для йогурта с наполнителями, чистые, кисломолочные. В меру сладко-кислый вкус с соответствующим привкусом и ароматом пророщенной пшеницы и ягод черники и голубики, без посторонних и неприятных оттенков послевкусия | Characteristic for yogurt with fillers, clean, dairy. Moderately sweet-sour taste with a corresponding aftertaste and aroma of wheat germ and bilberries and blueberries, without unpleasant aftertaste	9,8
Цвет Colour	Светло-фиолетовый, однородный, с вкраплениями светло-желтых нерастворимых частиц пророщенной пшеницы и частиц ягод черники и голубики, равномерно распределенных по всему объему продукта Light purple, homogeneous, interspersed with light yellow insoluble particles of wheat germ and particles of bilberries and blueberries, evenly distributed throughout the product	2,9
Упаковка и маркировка Packaging and labeling	Соответствуют требованиям ТР ТС 022/2011 и ГОСТ 31981 Comply with the requirements of the CU TR 022/2011and GOST31981	2,0

В результате исследования физико-химических показателей контрольных и экспериментальных образцов йогуртов установлено, что содержание углеводов в обогащённых образцах возрастает и составляет 5,40–5,45%, содержание витамина С находится в интервале 3,65–3,75 мг/%. Зафиксированные изменения подтверждают целесообразность внесения в йогурт растительных компонентов.

Содержание молочнокислых микроорганизмов в исследуемом йогурте составило $(1{,}1–1{,}5)\cdot10^9$ КОЕ/г. Нормативное значение содержания молочнокислых микроорганизмов в йогурте – не менее $1\cdot10^7$ КОЕ/г. Йогурт соответствует установленным требованиям безопасности, всем требованиям ТР ТС 021/2011, 033/2013 и ГОСТ 31981.

В ходе расчета экономической эффективности производства йогурта установлено, что себестоимость производства на 1 т составит 23,8 тыс. р., уровень рентабельности – 25,6%.

Заключение

Таким образом, разработанный функциональный продукт обладает лечебно-профилактическими свойствами. Биологическая ценность в данном продукте выше по сравнению с традиционными видами йогурта за счет повышенного содержания углеводов, витаминов, пищевых волокон, макро- и микроэлементов, аминокислот, жирных кислот, простых сахаров, пищевых волокон др.

Внедрение в промышленное производство разработанного авторами нового вида йогурта функционального назначения позволит расширить ассортиментную линейку молочных продуктов, рекомендуемых для организации здорового питания населения.

ЛИТЕРАТУРА

1 Лебедева У.М., Абрамов А.Ф., Степанов К.М., Васильева В.Т. и др. Пищевая ценность национальных молочных продуктов с добавлением лесных ягод и дикорастущих пищевых растений Якутии // Вопросы питания. 2015. Т. 84. № 6. С. 132–140.

2 Зобкова З.С., Фурсова Т.П., Зенина Д.В., Гаврилина А.Д. и др. Влияние пищевых добавок и функциональных ингредиентов на качество цельномолочных продуктов // Молочная промышленность. 2017. № 2. С. 50–52.

3 Шаскольская Н.Д., Шаскольский В.В. Самая полезная еда: Проростки. СПб.: Веды, Азбука-Аттикус, 2011. 192 с.

4 Пищевая ценность пшеницы. URL: http://chudoogorod.ru/ogorod/pshenica.html

5 Пророщенные зёрна пшеницы. URL: http://litelife.ge/ru-sprouts.html

6 Курлович Т.В. Брусника, голубика, клюква, черника. Москва: ИД МСП, 2016. 128 с.

7 Гиноян Р.В., Назарова Н.Е., Вараксина О.А. Влияние эмульсии из сухих порошков пророщенных злаков на качество йогурта // Интеграционные процессы в науке в современных условиях: сборник статей Международной научно-практической конференции. Часть. 3. 2018. С. 33–37.

8 Caceres P.J., Penas E., Martinez-Villaluenga C., Garcia-Mora P. et al. Development of a multifunctional yogurt-like product from germinated brown rice // LWT – Food Science and Technology. 2019. V. 99. P. 306–312.

9 Abd El-Fattah A., Sakr S., El-Dieb S., Elkashef H. Developing functional yogurt rich in bioactive peptides and gamma-aminobutyric acid related to cardiovascular health // LWT – Food Science and Technology. 2018. V. 98. P. 390–397.

10 Chen L., Alcazar J., Yang T., Lu Z. et al. Optimized cultural conditions of functional yogurt for γ-aminobutyric acid augmentation using response surface methodology // Journal of Dairy Science. 2018. V. 101. № 12. P. 10685–10693.

11 Silva V.L.M., Silva A.C.O., Costa-Lima B.R.C., Carneiro C.S. et al. Stability of polyphenols from blueberry (*Vaccinium corymbosum L.*) in fermented dairy beverage // Journal of Food Processing and Preservation. 2017. V. 41. № 6. P. e13305.

12 Sarkar S. Potentiality of probiotic yoghurt as a functional food – a review // Nutrition and Food Science. 2018. doi: 10.1108/NFS-05-2018-0139.

REFERENCES

1 Lebedev U.M., Abramov A.F., Stepanov K.M., Vasilyeva V.T. et al. Nutritional value of national dairy products with the addition of wild berries and wild food plants of Yakutia. *Voprosy pitaniya* [Nutrition issues]. 2015. vol. 84. no. 6. pp. 132–140. (in Russian).

2 Zobkova Z.S., Fursova T.P., Zenina D.V., Gavrilina A.D. et al. Influence of food additives and functional ingredients on the quality of whole milk products. *Molochnaya Promyshlennost'* [Dairy Industry]. 2017. no. 2. pp. 50–52. (in Russian).

3 Shaskolskaya N.D. Shaskolsky V.V. Samaya poleznaya yeda: Prorostki [The most useful food: Seedlings]. Saint Petersburg, Vedas, ABC-Atticus, 2011. 192 p.

4 Pishchevaya tsennost' pshenitsy [Nutritional value of wheat]. Available at: http://chudoogorod.ru/ogorod/pshenica.html. (in Russian).

5 Proroshchennyye zorna pshenitsy [Germinated Wheat Grains]. Available at: http://litelife.ge/ru-sprouts.html. (in Russian).

6 Kurlovich T.V. Brusnika, golubika, klyukva, chernika [Lingonberry, Blueberry, Cranberry, Blueberry]. Moscow, ID MSP, 2016. 128 p.(in Russian).

7 Ginoyan R.V., Nazarova N.E., Varaksina O.A. The effect of the emulsion of dry powders of germinated cereals on the quality of yogurt. Integracionnye processy v nauke v sovremennyh usloviyah [Integration processes in science in modern conditions: collection of articles of the International Scientific and Practical Conference. Part 3]. 2018. pp. 33–37. (in Russian).

8 Caceres P.J., Penas E., Martinez-Villaluenga C., Garcia-Mora P. et al. Development of a multifunctional yogurt-like product from germinated brown rice. LWT – Food Science and Technology. 2019. vol. 99. pp. 306–312.

9 Abd El-Fattah A., Sakr S., El-Dieb S., Elkashef H. Developing functional yogurt rich in bioactive peptides and gamma-aminobutyric acid related to cardiovascular health. LWT – Food Science and Technology. 2018. vol. 98. pp. 390–397.

10 Chen L., Alcazar J., Yang T., Lu Z. et al. Optimized cultural conditions of functional yogurt for γ-aminobutyric acid augmentation using response surface methodology. Journal of Dairy Science. 2018. vol. 101. no. 12. pp. 10685–10693.

11 Silva V.L.M., Silva A.C.O., Costa-Lima B.R.C., Carneiro C.S. et al. Stability of polyphenols from blueberry (*Vaccinium corymbosum L.*) in fermented dairy beverage. Journal of Food Processing and Preservation. 2017. vol. 41. no 6. pp. e13305.

12 Sarkar S. Potentiality of probiotic yoghurt as a functional food – a review. Nutrition and Food Science. 2018. doi: 10.1108/NFS-05-2018-0139.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Рубен В. Гиноян д.с.-х., профессор, Кафедра товароведения и переработки продукции животноводства, Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, пр-т Гагарина, 97, г. Нижний Новгород, 603107, Россия, r.ginojan@yandex.ru

Наталья Е. Назарова к.т.н., доцент, Кафедра Технологии производства, хранения и переработки продукции растениеводства, Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, пр-т Гагарина, 97, г. Нижний Новгород, 603107, Россия, nazarova-nnsaa@mail.ru

Юлия Н. Бондарева аспирант, Кафедра Технологии производства, хранения и переработки продукции растениеводства, Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, пр-т Гагарина, 97, г. Нижний Новгород, 603107, Россия, juliabondareva-1976@yandex.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 25.10.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 19.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Ruben V. Ginoyan Dr. Sci. (Agric.), professor, commodity research and processing of livestock products department, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Gagarin Av., 97 Nizhny Novgorod, 603107, Russia, r.ginojan@yandex.ru

Natal'ya E. Nazarova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology of production, storage and processing of crop products, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Gagarin Av., 97 Nizhny Novgorod, 603107, Russia, nazarova-nnsaa@mail.ru

Yuliya N. Bondareva graduate student, commodity research and processing of livestock products department, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Gagarin Av., 97 Nizhny Novgorod, 603107, Russia, juliabondareva-1976@yandex.ru

CONTRIBUTION

All authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.25.2018

ACCEPTED 11.19.2018

Краткое сообщение/Short message

УДК 664.2.543.

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-288-291

Оптические свойства йод-полисахаридов крахмала пшеницы

Владимир Г. Костенко [1] vniik@arrisp.ru
Георгий И. Подзигун [1]
Владимир А. Коваленок [1] vak-49@mail.ru

[1] Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М.Горбатова» РАН, ул. Некрасова, 11, Красково, 140051, Россия

Аннотация. Содержание амилозы в крахмале является одной из характеристик его качества. В основном оно является видовым признаком исходного крахмалсодержащего сырья и получаемого из него крахмала. От этого зависят физико-химические свойства крахмала и его использование в народном хозяйстве. В небольших количествах амилозу получают путём фракционирования крахмала. Это сложная и затратная технология. По созданию новых сортов картофеля, зерновых и зернобобовых культур с повышенным содержанием амилозы в крахмале проводят исследовательские работы селекционеры. Им нужны методики определения амилозы в разных видах сырья. Но прежде чем разрабатывать методику, необходимо исследовать оптические свойства того или иного вида крахмала и составляющих его компонентов. Как показали исследования, у разных видов крахмала оптические свойства компонентов крахмала разные. Например, методика, разработанная для определения амилозы в кукурузном крахмале, не приемлема для определения её в крахмале тритикале и пшеницы. Ранее нами были изучены свойства йод-полисахаридов кукурузного и тритикалевого крахмалов и факторы, влияющие на оптические свойства йод-полисахаридов. В этой работе исследовали влияние амилозы, концентрации йода и калия йодистого при соотношении KI:I от 3 до 15 на величину оптической плотности растворов йод-полисахаридов пшеницы. Установлено, что йод-амилоза пшеницы имеет максимум при 600 нм, йод-амилопектин – при 565 нм. Спектры полисахаридов пшеницы отличаются по величине оптической плотности λ_{max} и форме кривых от родственных полисахаридов тритикале. Концентрация йода в исследуемом растворе должна быть равной 0,6 мг/см^3, а соотношение калия йодистого к йоду – 5.

Ключевые слова: крахмал тритикале; йод-амилоза; йод-амилопектин; йод-полисахарид; соединения-включения; оптическая плотность; длина волны; спектрофотометрия.

Optical properties wheat starch iodine polysaccharides

Vladimir G. Kostenko [1] vniik@arrisp.ru
Georgy I. Podzigun [1]
Vladimir A. Kovalyonok [1] vak-49@mail.ru

[1] All-Russian research Institute for starch products, Nekrasova str., 11, Kraskovo, 140051, Russia

Abstract. The amylosecontents in starch is one of its qualitycharacteristics. Generally it is a specific sign of astarch-containing material and the starch received from it. Physical and chemical properties of starch and its use in the national economy depend on it. In small quantities the amylose is received by starch fractionating. It is the difficult and expensive technology. Selectors carry out research workson creation of new varieties of potatoes, grain and leguminous crops with the increased content of amylose in starch. They need techniques of definition of amylose in different types of raw materials. But before developing a technique, it is necessary to investigate optical properties of this or that type of starch and the components making it. It showed from researches, different types of starchhad differentoptical properties of itscomponents. For example, the technique developed for definition of amylose in corn starch isn't acceptable for its definition in starch of triticale and wheat. Earlier we studied properties of iodine polysaccharides of corn and triticale starches and factors affecting the optical properties of iodine polysaccharides. In this work it was investigated the influence of amylose, concentration of iodine and potassium iodide at KI:I from 3 to 15 on an optical density of wheat iodine polysaccharidessolutions. It is established that the iodine amylose of wheat has a maximum at 600 nanometers, an iodine amylopectin has at 565 nanometers. Spectra of wheatpolysaccharides differ in value of an optical density λmax and a form of curves from related polysaccharides of triticale. Concentration of an iodine in the studied solution has to be equal 0.6 mg/cm3, and a ratio of potassium iodide to an iodine has to be 5.

Keywords: triticale starch; iodine amylose; iodine amylopectin; iodine polysaccharide; links inclusions; optical density; wavelength; spectrophotometry

Введение

Молекула крахмала состоит из двух полисахаридов – амилозы и амилопектина. Амилоза построена из молекул глюкозы, связанных между собой α-1–4 связями, закрученными в прямую двойную спираль правого вращения. Амилопектин представляет собой разветвленный полимер, состоящий из отрезков амилозы разной длины, соединенных α-1–6 связями с основной цепочкой. Точки ветвления повторяются примерно через 25 глюкозных единиц. Содержание амилозы и амилопектина в крахмале бывает разным в зависимости от биологического вида растения. От этого зависят химические и физико-химические свойства крахмала и его использование в различных областях народного хозяйства.

Для цитирования

Костенко В.Г., Подзигун Г.И., Коваленок В.А. Оптические свойства йод-полисахаридов крахмала пшеницы // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 288–291. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-288-291

For citation

Kostenko V.G., Podzigun G.I., Kovalyonok V.A. Optical properties wheat starch iodine polysaccharides. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 288–291. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-288-291

Крахмал и составляющие его полисахариды образуют с йодом соединения-включения. Под действием йода водные растворы крахмала и амилозы окрашиваются в синий цвет, амилопектина – в красно-фиолетовый. Это связано с различием в строении этих полисахаридов.

Объектом исследования были йод-полисахаридные соединения-включения крахмала пшеницы.

Цель работы – изучить оптические свойства йод-полисахаридов крахмала пшеницы и выявить сходство и различие оптических свойств от полисахаридов других видов крахмалов.

Материалы и методы

Объекты исследования: крахмал зерна пшеницы (ГОСТ 32092-2014) и его полисахариды, амилоза, амилопектин, их смеси в разных соотношениях.

Амилозу и амилопектин получали с использованием бутанола-1, изоамилового спирта, этанола согласно [1,2], используя способность амилозы в отличие от амилопектина образовывать кристаллический комплекс с бутанолом-1.

Осаждение осадков амилозы и амилопектина проводили на центрифуге лабораторной пробирочной ОС-6М (5500 об/мин, 15 мин).

Исходные растворы йода, амилозы, амилопектина, их смесей, крахмала приготавливали концентрацией 1 мг/см^3 согласно [1, 2], исследуемые растворы – согласно условиям экспериментов. Полисахариды растворяли в 0,1 н растворе гидрооксида натрия при нагревании в кипящей водяной бане в течение 5 мин, подкисляли до pH 5,0–5,3 и разбавляли до концентрации 0,1 мг/см^3.

Исходные растворы амилозы, амилопектина, крахмала, йода приготавливали концентрацией 1 мг/см^3 [1, 2]. Взвешивали 100 мг безводного вещества в стакане вместимостью 100 см^3, приливали 20 см^3 0,1 н раствора NaOH. Стакан погружали в кипящую водяную баню, установленную на обогреваемую магнитную мешалку на 5 мин, затем вынимали, охлаждали, подкисляли уксусной кислотой до pH 5,0–5,3 и доливали дистиллированной водой до объема 100 см^3.

Исследуемые растворы приготавливали согласно условиям экспериментов.

В мерную колбу вместимостью 100 см^3 вносили исходные растворы, например, по 1; 2; 3; 4; 5; 6 см^3 раствора амилозы и по 9; 8; 7; 6; 5; 4 см^3 раствора амилопектина, чтобы их суммарная концентрация всегда была 0,1 мг/см^3 в 100 см^3. Концентрация йода и йодистого калия была разной в зависимости от условий опыта: йода 0,03–0,08 мг/см^3 в 100 см^3 при соотношении калия йодистого к йоду от 5 до 15. Таким образом, исследуемый раствор содержал от 0,01 до 0,06 мг/см^3 амилозы (10–60%) и от 0,09 до 0,04 мг/см^3 (90–40%) амилопектина и 0,03–0,08 мг/см^3 йода.

Измерение оптических характеристик исследуемых растворов йод-полисахаридных комплексов амилозы, амилопектина, их смесей и крахмала проводили на отечественном спектрофотометре СФ-2000 в диапазоне 200–800 и 400–800 нм.

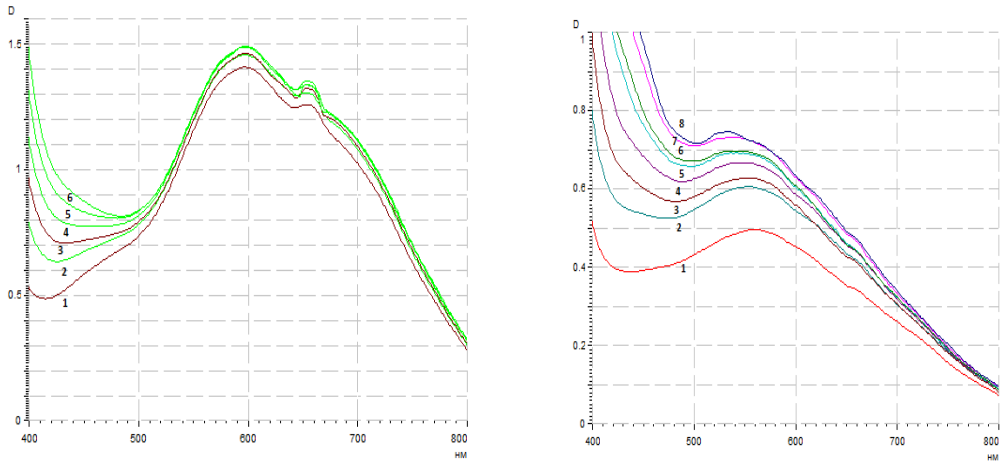
Результаты и обсуждение

Оптические свойства йод-полисахаридов, интенсивность их окраски зависят от многих факторов – от ботанического вида и сорта крахмала, степени его полимеризации, длины спиралей амилозы, как в амилопектине, так и в амилозе, его модификации (механической, химической или физико-химической). Они зависят от почвенно-климатических и агрохимических условий произрастания крахмалоносов и др.

Оптические свойства йод-полисахаридных комплексов пшеницы отличаются от аналогичных комплексов родственной культуры тритикале (гибрида пшеницы и ржи). Так, амилоза пшеницы имеет величину максимума оптической плотности λ_{max} при 600 нм, тогда как тритикале – 567 нм. Амилопектин пшеницы имеет λ_{max} при 565 нм (амилопектин тритикале его не имеет). Кроме этих природных факторов, есть факторы, влияющие на величину оптической плотности исследуемых растворов йод-полисахаридов в процессе приготовления исследуемых растворов. К ним относятся йод и калий йодистый.

Одними из факторов, влияющих на величину оптической плотности йод-полисахаридов, являются концентрации калия йодистого и йода в исследуемом растворе. Надо было установить концентрацию и количество йода, необходимого для полного насыщения полисахаридов йодом при образовании йод-полисахаридных комплексов и в то же время не допустить его большого избытка, так как он смещает максимум оптической плотности йод-полисахарида в коротковолновую область и в растворе с полисахаридами приводит к увеличению оптической плотности исследуемого раствора [4–10].

На рисунке 1*а* показаны спектры растворов йод-амилозы пшеницы (0,1 мг/см^3) в зависимости от концентрации йода. Оптическая плотность растворов йод-амилозы пшеницы с повышением концентрации йода от 0,03 до 0,05 мг/см^3 значительно возрастает, а при 0,06 и 0,07 мг/см^3 кривые почти накладываются одна на другую. Это свидетельствует о насыщении обоих полисахаридов йодом. При дальнейшем исследовании использовали концентрацию йода 0,06 мг/см^3.



a *b*

Рисунок 1. Спектры растворов йод-амилозы (*a*) и йод-амилопектина (*b*) пшеницы (0,1 мг/см^3) при разных концентрациях йода, мг/см^3: 1 – 0,03; 2 – 0,04; 3 – 0,05; 4 – 0,06; 5 – 0,07; 6 – 0,08; 7 – 0,09; 8 – 0,1

Figure 1. The spectra of solutions of iodine-amylose (*a*) and iodine-amylopectin (*b*) of wheat (0.1 mg/cm^3) at different concentrations of iodine, mg / cm3: 1 – 0.03; 2 – 0.04; 3 – 0.05; 4 – 0.06; 5 – 0.07; 6 – 0.08; 7 – 0.09; 8 – 0.1

На рисунке 1*b* показаны спектры растворов йод-амилопектиновых соединений-включений пшеницы. Максимум оптической плотности йод-амилопектина находится при 565 нм. Хорошо видно влияние йода на йод-амилопектиновые соединения-включения. Концентрация амилопектина в растворах одинаковая, изменяется только концентрация йода от 0,03 до 0,1 мг/см^3. Оптическая плотность с увеличением концентрации йода повышается. При концентрации йода 0,07 и 0,08 мг/см^3 и 0,09 и 0,1 мг/см^3 кривые накладываются одна на другую. Достигнув максимального значения под влиянием йода, кривые расходятся – это проявляются оптические свойства йода в коротковолновой области спектра. При этом наблюдается незначительное смещение максимума кривых в коротковолновую область.

Как видно из рисунка 1, насыщение полисахаридов пшеницы йодом происходит при концентрации йода 0,06 мг/см^3.

Смеси амилозы и амилопектина пшеницы имеют λ_{max} при 600 нм независимо от концентрации амилозы в смеси. Следует отметить, что величина оптической плотности D смеси больше, чем величина оптической плотности чистой амилозы (рисунок 2).

Величина оптической плотности D характеризует количество амилозы, вступившей во взаимодействие с йодом. Увеличение оптической плотности в смесях при 600 нм не может быть объяснено наложением пика амилопектина в этой области, так как оптическая плотность D йод-амилопектина при 600 нм существенно ниже, чем оптическая плотность D йод-амилозы. Одним из возможных объяснений является образование в растворе смеси амилозы с амилопектином ассоциатов, в результате чего в молекулах полисахаридов появляются дополнительные участки, способные внедрять молекулы йода в спирали.

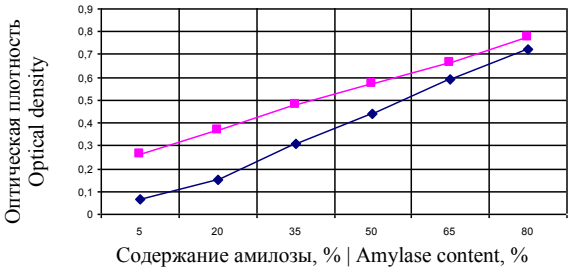


Рисунок 2. Зависимость оптической плотности от содержания амилозы и содержания амилозы в смеси с амилопектином пшеничного крахмала

Figure 2. The dependence of optical density on the amylose content and amylose content in a mixture with wheat starch amylopectin

Образование ассоциатов амилозы с амилопектином достигает максимума при соотношении амилозы и амилопектина 1:1.

Таким образом, спектры смесей амилозы и амилопектина не являются суммарным наложением спектров двух разных по свойствам соединений, а являются спектром единого комплекса соединений, находящихся в исследуемом растворе. Тем более что при 600 нм амилопектин имеет низкую оптическую плотность.

Выводы

1. Спектры полисахаридов пшеницы отличаются по величине λ_{max} и форме кривых от родственных полисахаридов тритикале.

2. Йод-амилоза пшеницы имеет максимум при 600 нм, йод-амилопектин – при 565 нм.

3. Концентрация йода в исследуемом растворе должна быть равной 0,6 мг/см^3.

4. Мольное соотношение калия йодистого к йоду должно быть равным 5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wang J.P., Li Y., Tian Y.Q., Xu X.M. et al. A novel triple-wavelength colorimetric method for measureing amylase and amylopectin contents // Starke. 2010. № 10. P. 508–516.
2. Костенко В.Г., Подзигун Г.И., Лукин Н.Д., Ковалёнок В.А. Изучение оптических свойств кукурузного крахмала // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т.30. № 12. С. 110–112.
3. Дашевский В.Г. Конформационный анализ макромолекул. М.: Наука, 1987. 180 с.
4. Tintu I., Abhilash J., Dileep K.V., Augustine A. et al. A Lectin from S patholobus parviflorus Inhibits A spergillus flavus α-Amylase: Enzyme Kinetics and Thermodynamic Studies // Chemical biology & drug design. 2014. V. 84. № 1. P. 116–122.
5. Okon E., Etta H., Nenco N. Investigating the effect of growth regulator, furolan on starch and protein contents in winter wheat cultivars // Russian agricultural sciences. 2015. V. 41. № 2-3. P. 107–110.
6. Lim Y.-M., Hoobin P., Ying D., Burgar I. et al. Physical characterisation of high amylose maize starch and acylated high amylose maize starches // Carbohydrate polymers. 2015. V. 117. P. 279–285.
7. Yang Y., Rao Y., Xu J., Shao G. et al. Genetic analysis of sugar-related traits in rice grain // South African Journal of Botany. 2014. V. 93. P. 137–141.
8. Sivapragasam N., Ohm J.-B., Thavarajah P. et al. Novel starch based nano scale enteric coatings from soybean meal for colon-specific delivery // Carbohydrate polymers. 2014. V. 111. P. 273–279.
9. Struyf N., Laurent J., Lefevere B., Verspreet J. et al. Establishing the relative importance of damaged starch and fructan as sources of fermentable sugars in wheat flour and whole meal bread dough fermentations // Food chemistry. 2017. V. 218. P. 89–98.
10. Singh H., Saharan R., Sharma K.P. Isolation and Characterization of Amylase producing Bacteria from Diverse Environmental samples // Journal of Microbiology and Biotechnology Research. 2017. V. 4. №. 4. P. 8–18.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Владимир Г. Костенко к.т.н., ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М.Горбатова» РАН, ул. Некрасова, 11, Красково, 140051, Россия, vniik@arrisp.ru

Георгий И. Подзигун к.х.н., вед. научн. сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М.Горбатова» РАН, ул. Некрасова, 11, Красково, 140051, Россия

Владимир А. Коваленок д.т.н., профессор, вед. науч. сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М.Горбатова» РАН, ул. Некрасова, 11, Красково, 140051, Россия, vak-49@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Владимир Г. Костенко провёл эксперимент, написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию

Георгий И. Подзигун обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперименты и несёт ответственность за плагиат

Владимир А. Коваленок консультация в ходе исследования, выполнил расчёты

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 22.11.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 10.12.2018

REFERENCES

1 Wang J.P., Li Y., Tian Y.Q., Xu X.M. et al. A novel triple-wavelength colorimetric method for measureing amylase and amylopectin contents. Starke. 2010. no. 10. pp. 508–516.

2 Kostenko V.G., Podzigun G.I., Lukin N.D., Kovaljonok V.A. The study of the optical properties of corn starch. *Dostizhenija nauki i tehniki APK* [Achievements of science and technology of agriculture]. 2016. vol. 30. no. 12. pp. 110–112. (in Russian).

3 Dashevskij V.G. Konformacionnyj analiz makromolekul [Conformational analysis of macromolecules]. Moscow, Nauka, 1987. 180 p. (in Russian).

4 Tintu I., Abhilash J., Dileep K.V., Augustine A. et al. A Lectin from S patholobus parviflorus Inhibits A spergillus flavus α-Amylase: Enzyme Kinetics and Thermodynamic Studies. Chemical biology & drug design. 2014. vol. 84. no. 1. pp. 116–122.

5 Okon E., Etta H., Nenco N. Investigating the effect of growth regulator, furolan on starch and protein contents in winter wheat cultivars. Russian agricultural sciences. 2015. vol. 41. no. 2-3. pp. 107–110.

6 Lim Y.-M., Hoobin P., Ying D., Burgar I. et al. Physical characterisation of high amylose maize starch and acylated high amylose maize starches. Carbohydrate polymers. 2015. vol. 117. pp. 279–285.

7 Yang Y., Rao Y., Xu J., Shao G. et al. Genetic analysis of sugar-related traits in rice grain. South African Journal of Botany. 2014. vol. 93. pp. 137–141.

8 Sivapragasam N., Ohm J.-B., Thavarajah P. et al. Novel starch based nano scale enteric coatings from soybean meal for colon-specific delivery. Carbohydrate polymers. 2014. vol. 111. pp. 273–279.

9 Struyf N., Laurent J., Lefevere B., Verspreet J. et al. Establishing the relative importance of damaged starch and fructan as sources of fermentable sugars in wheat flour and whole meal bread dough fermentations. Food chemistry. 2017. vol. 218. pp. 89–98.

10 Singh H., Saharan R., Sharma K.P. Isolation and Characterization of Amylase producing Bacteria from Diverse Environmental samples. Journal of Microbiology and Biotechnology Research. 2017. vol. 4. no. 4. pp. 8–18.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Vladimir G. Kostenko Cand. Sci. (Engin.), leading researcher, All-Russian research Institute for starch products, Nekrasova str., 11, Kraskovo, 140051, Russia, vniik@arrisp.ru

Georgy I. Podzigun Cand. Sci. (Chem.), leading researcher, All-Russian research Institute for starch products, Nekrasova str., 11, Kraskovo, 140051, Russia

Vladimir A. Kovalyonok Dr. Sci. (Engin.), professor, leading researcher, All-Russian research Institute for starch products, Nekrasova str., 11, Kraskovo, 140051, Russia, vak-49@mail.ru

CONTRIBUTION

Vladimir G. Kostenko conducted an experiment, wrote the manuscript, correct it before filing in editing

Georgy I. Podzigun обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперименты и несёт ответственность за плагиат

Vladimir A. Kovalyonok consultation during the study, performed computations

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 11.22.2018

ACCEPTED 12.10.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 338.2

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-292-297

Кормовые добавки для повышения продуктивности и естественной резистентности сельскохозяйственных животных

Ирина В. Черемушкина [1] irinacher2010@yandex.ru
Алексей Г. Шахов [2] A.G.Shakhov@mail.ru
Антон Е. Черницкий [2] cherae@mail.ru
Наталья Н. Манилевич [1] nat-mnn@mail.ru

[1] Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г Воронеж, 394036, Россия
[2] Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии, ул. Ломоносова 114б, г Воронеж, 394087, Россия

Аннотация. Применение интенсивных технологий в промышленном животноводстве приводит к повышению стресс-чувствительности животных, снижению их иммунного статуса и развитию патологических состояний. Для увеличения сохранности молодняка, в том числе за счет снижения его заболеваемости и падежа от болезней, разрабатываются кормовые добавки, включающие пробиотики, пребиотики и (или) другие компоненты, стимулирующие иммунологическую резистентность организма животных, их рост и продуктивность. В настоящей статье изучена эффективность использования комплексной кормовой добавки, содержащей мультиэнзимный ферментный препарат, пробиотический препарат «Пролам» и жмых амаранта, для повышения эффективности выращивания телят. Исследования выполнены на телятах красно-пестрой голштинской породы с 10 дневного возраста. Телятам трех опытных групп вводили в рацион кормовую добавку в дозировке 5, 10 и 15 г в сутки с 10 дня. Применение комплексной кормовой добавки способствовало оптимизации процесса формирования кишечного микробиоценоза, повышению естественной резистентности организма и адаптивного иммунного ответа на антигенное воздействие, сопровождающиеся снижением заболеваемости животных, длительности и тяжести течения желудочно-кишечной патологии. Применение кормовой добавки в дозировке 10–15 г/голову в сутки благоприятно сказалось на интенсивности роста и естественной резистентности организма телят. Полученные данные являются основанием для включения кормовой добавки в рацион молодняка сельскохозяйственных животных

Ключевые слова: сельскохозяйственные животные, антагонистическая активность, микробиоценоз, естественная резистентность, цитокины, желудочно-кишечные болезни

Feed additives to enhance productivity and natural agricultural resistance of animals

Irina V. Cheryomushkina [1] irinacher2010@yandex.ru
Alexey G. Shakhov [2] A.G.Shakhov@mail.ru
Anton E. Chernitskiy [2] cherae@mail.ru
Natalia N. Manilevich [1] nat-mnn@mail.ru

[1] Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
[2] All-Russian Research Veterinary Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy, Lomonosova str., 114 b, Voronezh, 394087, Russia

Abstract. The use of intensive technologies in industrial livestock leads to an increase in the stress sensitivity of animals, a decrease in their immune status and the development of pathological conditions. To increase the safety of young stock, including by reducing its incidence and death from diseases, feed additives are being developed, including probiotics, prebiotics and (or) other components that stimulate the immunological resistance of animals, their growth and productivity. This article examines the effectiveness of the use of a complex feed additive containing a multienzyme enzyme preparation, the probiotic preparation Prolam and amaranth oilcake to increase the efficiency of growing calves. The studies were performed on calves of the red-motley Holstein breed from 10 days of age. The calves of the three experimental groups were introduced into the diet feed additive at a dosage of 5, 10 and 15 g per day from 10 days. The use of a complex feed additive contributed to optimizing the process of forming intestinal microbiocenosis, increasing the body's natural resistance and adaptive immune response to antigenic effects, accompanied by a decrease in animal morbidity, duration and severity of gastrointestinal pathology. The use of the feed additive in the dosage of 10–15 g / head per day favorably affected the growth rate and the natural resistance of the body of calves. The data obtained are the basis for the inclusion of feed additives in the diet of young farm animals.

Keywords: farm animals, antagonistic activity, microbiocenosis, natural resistance, cytokines, gastrointestinal diseases

Введение

Одной из основных задач комплексной программы развития биотехнологий в Российской Федерации на период до 2020 года является сохранение и развитие биоресурсного потенциала как основы биоиндустрии. Мировая практика животноводства и птицеводства свидетельствует о том, что быстрое увеличение прибыльности производства зависит от потенциала тех добавок, которые используются в отрасли [1–3].

Разработка новых кормовых добавок является актуальной задачей, значимость которой существенно возросла в последнее время в связи с отказом или ограничением

Для цитирования
Черемушкина И.В., Шахов А.Г., Черницкий А.Е., Манилевич Н.Н. Кормовые добавки для повышения продуктивности и естественной резистентности сельскохозяйственных животных // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 292–297. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-292-297

For citation
Cheryomushkina I.V., Shakhov A.G., Chernitskiy A.E. Manilevich N.N. Feed additives to enhance productivity and natural agricultural resistance of animals. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 292–297. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-292-297

применения кормовых антибиотиков в рационах, с одной стороны, и с необходимостью повысить качество отечественных комбикормов, в том числе за счет повышения их переваримости и усвояемости, с другой. С переходом на индустриальные методы выращивания при высоких плотностях посадки, способствующих нарушению микробных экологических систем в пищеварительном тракте и возникновению дисбактериозов, требования к качеству кормов приобрели одно из важнейших значений.

На рынке кормовых добавок в России на долю иностранных компаний приходится более 80% от всего объема потребления. Наибольшее количество зарубежных компаний, поставляющих кормовые добавки, приходится на европейские страны. Экспорт отечественной продукции такого рода отсутствует.

Использование комплексных кормовых добавок, в состав которых входят ферментные препараты, пробиотики, фитобиотики и другие компоненты, повышающие иммунологическую резистентность организма животных, позволяет вводить в рацион экономически выгодные кормовые компоненты, не жертвуя при этом питательной ценностью корма, устранить негативный эффект антипитательных факторов, влияющих на абсорбцию и использование питательных веществ, а также оказывает положительное влияние на переваривающую способность молодняка сельскохозяйственных животных в тех случаях, когда выработка энзимов в организме ограничена [4–7].

Материалы и методы

Исследования выполнены на телятах красно-пестрой голштинской породы 10-дневного возраста. Изучение влияния кормовой добавки на иммунный и клинический статус проведено на 40 телятах, которых разделили на 4 группы. Телятам 3 опытных групп (n = 10) давали кормовую добавку в дозировке 5, 10 и 15 г в сутки с 10-го дня (возраст животных к началу скармливания препарата составлял 10 сут), в контрольной (n = 10) препарат не применяли.

Включение в состав кормовой добавки мультиэнзимного ферментного препарата, пробиотического препарата «Пролам» (производитель ООО «Биотехагро») и жмыха амаранта позволяет получить высокоэффективную комплексную кормовую добавку, в том числе для нормализации и восстановления микрофлоры желудочно-кишечного тракта молодняка.

Телята после рождения содержались в индивидуальных домиках, в течение 3 дней их выпаивали молозивом (молоком) матери, а затем молоком, подвергнутом сквашиванию. Животные медикаментозному лечению не подвергались.

Рационы телят разрабатывались согласно нормам кормления и периодически пересматривались в зависимости от возраста, живой массы и интенсивности роста. Поедаемость кормов определяли ежемесячно в течение 2 смежных суток путем контрольных кормлений. Качественный состав кормов изучали в лаборатории кормления Научно-исследовательского центра по оценке качества и безопасности сырья, продукции и материалов ГНУ «Всероссийского научно-исследовательского ветеринарного института патологии, фармакологии и терапии Российской академии сельскохозяйственных наук» по общепринятым методикам зоотехнического анализа.

Содержание общего белка в сыворотке крови определяли рефрактометрически, концентрацию глюкозы, мочевины, креатинина, холестерина, активность аспартатаминотрансферазы (АсАТ), аланинаминотрансферазы (АлАТ), щелочной фосфатазы, γ-глутамилтрансферазы (ГГТ) – на биохимическом анализаторе «Hitachi-902» (Япония).

Определение содержания эритроцитов, лейкоцитов, тромбоцитов, гемоглобина, гематокрита, гистограмм распределения клеток крови проводили на анализаторе Micros-60 («Horiba ABX», Франция).

Бактерицидную и лизоцимную активность сыворотки крови определяли по модифицированным методикам. Для исследования БАСК в 4,5 мл бульона Хоттингера добавляли 1 мл сыворотки и 0,1 мл суточной бульонной культуры *Escherichia coli*, в контрольные пробы вносили только культуру микроорганизма. Содержимое пробирок тщательно перемешивали, в 2 мл смеси измеряли оптическую плотность (OD_{490}). Смесь, оставшуюся в пробирках, инкубировали в термостате при 37 °С в течение 3 ч, и повторно измеряли оптическую плотность. Активность определяли в единицах угнетения роста оптической плотности в опытных пробах по сравнению с контрольными.

При определении ЛАСК к 0,1 мл сыворотки крови добавляли 0,4 мл 0,06 М фосфатный буфер (pH 7,2–7,4) и 2 мл микробной взвеси *Micrococcus lysodeicticus* оптической плотностью 0,215 OD_{540}. Контроль содержал 0,5 мл фосфатного буфера и 2 мл взвеси микроорганизма, стандартные образцы включали 0,4 мл фосфатного буфера, 0,1 мл раствора лизоцима с известной активностью и 2 мл взвеси микрококка. Пробы инкубировали 30 мин при 37 °С и измеряли оптическую плотность (OD_{540}). Активность лизоцима выражали в мкг/мл.

Концентрацию провоспалительных (IL-1β, IL-8), иммунорегуляторных (IL-4, ИФН-γ) и противовоспалительного (IL-10) цитокинов

в сыворотке крови телят определяли методом иммуноферментного анализа согласно утвержденным методикам к соответствующим диагностическим наборам («Вектор-Бест» Россия).

Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлены промеры статей экстерьера и показатели интенсивности роста телят.

На начало опыта масса тела животных существенно не отличалась, а на 30-е сутки у телят 3-й и 2-й опытных групп была на 21,5 и 17,4% соответственно выше, чем в контрольной группе ($p < 0,05$). Среднесуточный прирост массы тела у телят этих групп был на 64,9 и 59,7% ($p < 0,05$) соответственно выше по сравнению с опытной группой, получавшей добавку в дозировке 5 г в сутки. У телят всех опытных групп на конец опыта наблюдалось улучшение экстерьерных показателей, что может являться следствием улучшения протекания обменных процессов в организме животных и увеличения адаптивных способностей.

Применение кормовой добавки в дозировке 15 и 10 г/голову приводило к увеличению содержания общего белка и общих липидов в сыворотке крови телят на 9,3–11,5% и 53,8% соответственно ($p < 0,05$) по сравнению с уровнем у интактных животных (таблица 2).

Таблица 1.

Зоотехнические промеры и показатели интенсивности роста телят

Table 1.

Zootechnical measurements and indicators of intensity of growth of calves

Показатель Indicator	Группа телят | Group of calves			
	опытная | experiment			контрольная control
	3	2	1	
Масса тела на начало опыта, кг Body weight at the beginning of the experiment, kg	43,8 ± 3,49	42,3 ± 2,16	38,7 ± 3,82	38,8 ± 2,65
Масса тела на конец опыта, кг Body weight at the end of the experiment, kg	56,5 ± 2,32*	54,6 ± 1,49*	48,0 ± 3,48	46,5 ± 3,72
Абсолютный прирост массы тела, кг | Absolute weight gain, kg	12,7 ± 0,66*	12,3 ± 1,83*	9,3 ± 1,16	7,7 ± 0,83
Относительный прирост массы тела,% | Relative weight gain,%	28,9 ± 1,41*	29,1 ± 1,99*	24,0 ± 3,41	19,8 ± 4,26
Среднесуточный прирост массы тела, г Average daily weight gain, g	635 ± 33,2*	615 ± 30,4*	465 ± 58,1	385 ± 41,5
Высота в холке, см | Height at withers, cm	80,5 ± 1,59*	78,4 ± 0,97	78,3 ± 3,94	76,3 ± 1,20
Глубина груди, см | Chest depth, cm	32,7 ± 0,60	32,4 ± 0,44	32,7 ± 1,69	32,0 ± 0,20
Обхват груди за лопатками, см Chest girth behind shoulder blades, cm	86,0 ± 1,44*	83,7 ± 0,98*	81,5 ± 3,82	80,8 ± 0,52

Примечание: * – $p < 0,05$ по сравнению с телятами контрольной группы (Note: * – $p < 0.05$ compared to control calves)

Таблица 2.

Результаты биохимических исследований крови телят

Table 2.

The results of biochemical studies of blood of calves

Показатель Indicator	Группа телят | Group of calves			
	опытная | experiment			контрольная control
	3	2	1	
1	2	3	4	5
Общий белок, г/л Total protein, g/ l	62,0 ± 1,93 60,9 ± 2,42*	61,4 ± 3,77 59,7 ± 2,61*	62,2 ± 4,51 56,5 ± 2,32	63,1 ± 3,87 54,6 ± 1,89
Мочевина, мМ/л Urea, mmol/l	2,6 ± 0,12 2,8 ± 0,28	2,2 ± 0.03 3,2 ± 0,25	2,4 ± 0,44 3,2 ± 0,82	2,4 ± 0,26 3,1 ± 1,16
Креатинин, мкМ/л Creatinine, μmol/l	109,0 ± 12,00 94,3 ± 3,75	107,2 ± 6,83 93,0 ± 8,33	99,0 ± 9,33 94,2 ± 8,16	102,8 ± 9,76 96,3 ± 13,25
Общие липиды, г/л Total lipids, g/ l	1,4 ± 0,23 2,0 ± 0,15*	1,5 ± 0,29 2,0 ± 0,18*	1,6 ± 0,26 1,6 ± 0,26	1,4 ± 0,71 1,3 ± 0,19
Холестерин, мМ/л Cholesterol, mmol/l	1,9 ± 0,16 1,4 ± 0,20	1,9 ± 0,22 1,6 ± 0,33	1,9 ± 0,40 1,3 ± 0,16	1,8 ± 0,13 1,5 ± 0,46
Глюкоза, мМ/л Glucose, mmol/l	3,7 ± 0,29 2,6 ± 0,24	4,2 ± 0,15 3,1 ± 0,31	4,9 ± 0,30 2,9 ± 0,05	3,7 ± 1,36 3,0 ± 0,08
Лактат, мМ/л Lactate, mmol/l	0,6 ± 0,02 0,6 ± 0,10	0,6 ± 0,04 0,7 ± 0,08	0,6 ± 0,05 0,7 ± 0,04	0,5 ± 0,02 0,7 ± 0,09
Пируват, мкМ/л Pyruvate, μmol/l	219,3 ± 28,25 237,0 ± 24,00	146,4 ± 3,68 173,4 ± 2,48	141,0 ± 39,33 209,7 ± 11,78	206,8 ± 96,16 193,7 ± 6,22
ЩФ, Е/л Alkaline phosphatase, U/l	224,4 ± 48,08 246,3 ± 36,75	247,0 ± 68,00 313,3 ± 15,78	259,5 ± 48,00 306,3 ± 67,11	248,5 ± 32,00 256,0 ± 40,50

Продолжение табл. 2 | Continued table 2

1	2	3	4	5
АлАТ, Е/л Alanine aminotransferase, U/l	12,5 ± 2,78 9,5 ± 0,30*	12,4 ± 1,08 9,9 ± 0,51*	12,1 ± 3,19 9,7 ± 2,31	11,9 ± 5,40 13,6 ± 1,68
АсАТ, Е/л Aspartate aminotransferase, U/l	36,2 ± 3,82 40,2 ± 2,43	36,6 ± 3,63 44,6 ± 4,09	34,8 ± 3,28 42,4 ± 2,78	35,3 ± 7,88 39,3 ± 5,33
ГГТ, Е/л Gamma-glutamyltransferase, U/l	103,3 ± 28,84 18,7 ± 3,65	105,8 ± 42,34 19,5 ± 1,29	79,0 ± 14,68 19,0 ± 2,03	87,5 ± 20,39 20,1 ± 1,76
Фосфор, мМ/л Phosphorus, mmol/l	2,8 ± 0,04 3,2 ± 0,24*	2,9 ± 0,11 3,3 ± 0,19*	2,9 ± 0,37 3,2 ± 0,17*	2,9 ± 0,23 2,6 ± 0,17
Кальций, мМ/л Calcium, mmol/l	3,1 ± 0,06 3,0 ± 0,11	3,1 ± 0,01 3,2 ± 0,07*	2,9 ± 0,10 3,2 ± 0,03*	3,0 ± 0,05 2,8 ± 0,15

Примечание: над чертой – на 10-е сут (фон), под чертой – на 28-е сут жизни; * – $p < 0,05$ по сравнению с телятами контрольной группы (Note: above the line – on the 10th day (background), below the line – on the 28th day of life; * – $p < 0.05$ compared to the calves of the control group)

Увеличение концентрации АсАТ в физиологических пределах свидетельствовало о более эффективном использовании аминокислот в биохимических процессах в тканях телят. При этом активность АлАТ была на 27,2–30,1% ($p < 0,05$) ниже по сравнению с контрольной группой, концентрация креатинина достоверно снижалась. В опытных группах не выявлено значительного колебания концентрации глюкозы – центрального метаболита углеводного обмена, что подтверждает, вместе с раннее проведенными исследованиями физиологическую адекватность для молодняка крупного рогатого скота введения в рацион кормовой добавки.

На улучшение минерального обмена указывает повышение содержания неорганического фосфора и кальция в сыворотке крови телят опытных групп на 23,1, 26,9 и 14,3% соответственно по сравнению с контрольной группой. Полученные результаты свидетельствуют о более интенсивном, чем у животных контрольной группы, протекании биосинтетических процессов.

Анализ результатов морфологических исследований крови показал, что у телят, получавших кормовую добавку, происходило перераспределение морфологических форм лейкоцитов, уменьшалось содержание нейтрофилов и возрастало число лимфоцитов в крови (таблица 3).

Иммуностимулирующее действие кормовой добавки было наиболее выражено при внесении в рацион кормовой добавки в дозировке 10 г/голову (таблица 4).

Помимо повышения бактерицидной активности сыворотки крови, наблюдаемого у телят опытных групп, у животных 2-й опытной группы достоверно возрастало содержание иммунных глобулинов в сыворотке крови, в частности иммуноглобулинов класса G – на 37,1% ($p < 0,05$) по сравнению с контролем.

Существенные изменения наблюдали в цитокиновом профиле сыворотки крови телят (таблица 5).

Таблица 3.

Результаты морфологических исследований крови телят

Table 3.

Results of morphological studies of blood of calves

Показатель Indicator	Группа телят | Group of calves			
	опытная | experiment			контрольная control
	3	2	1	
Эритроциты, 10^{12}/л Erythrocytes	6,8 ± 0,30 6,3 ± 0,12	6,8 ± 0,44 6,6 ± 0,50	6,6 ± 0,27 6,0 ± 0,24	6,4 ± 0,56 6,2 ± 0,66
Лейкоциты, 10^9/л Leukocytes	8,9 ± 1,14 7,7 ± 1,50	8,5 ± 1,53 7,7 ± 0,33	7,2 ± 1,55 5,8 ± 0,90*	8,8 ± 0,53 8,2 ± 0,83
Нейтрофилы, 10^9/л Neutrophils	3,8 ± 0,90 2,2 ± 0,59*	3,6 ± 0,94 2,4 ± 0,51*	3,0 ± 0,55* 2,1 ± 0,60*	4,3 ± 0,47 3,9 ± 0,68
Моноциты, 10^9/л Monocytes	0,19 ± 0,08 0,35 ± 0,14	0,11 ± 0,09 0,46 ± 0,10	0,13 ± 0,06 0,20 ± 0,06	0,17 ± 0,04 0,40 ± 0,17
Лимфоциты, 10^9/л Lymphocytes	4,8 ± 0,86 5,1 ± 0,78	4,8 ± 1,05 4,7 ± 0,25	4,0 ± 1,28 3,5 ± 0,78	4,4 ± 0,33 3,9 ± 0,64
Тромбоциты, 10^9/л Platelets	1193 ± 162,0 1938 ± 163,1	1218 ± 152,8 1718 ± 98,1	1370 ± 170,6 1874 ± 196,6	1347 ± 133,1 1710 ± 323,6
Гемоглобин, г/л Hemoglobin	120,4 ± 5,78 109,2 ± 3,50	116,7 ± 5,75 108,6 ± 5,00	109,8 ± 3,00 96,0 ± 4,25	103,8 ± 7,75 106,9 ± 2,29
Гематокрит, % Hematocrit	25,4 ± 1,03 22,5 ± 0,40	25,6 ± 4,85 23,9 ± 3,38	24,9 ± 1,35 21,2 ± 1,20	24,9 ± 2,87 22,0 ± 2,56

Примечание: над чертой – на 10-е сут (фон), под чертой – на 28-е сут жизни; * – $p < 0,05$ по сравнению с телятами контрольной группы (Note: above the line – on the 10th day (background), below the line – on the 28th day of life; * – $p < 0.05$ compared to the calves of the control group)

Таблица 4.

Результаты иммунологических исследований крови телят

Table 4.

The results of immunological studies of blood of calves

Показатель Indicator	Группа телят | Group of calves			
	опытная | experiment			контрольная control
	3	2	1	
Иммуноглобулины общие, г/л Total immunoglobulin, g/l	21,0 ± 2,53 22,7 ± 2,29	21,3 ± 1,64 29,5 ± 0,78*	19,4 ± 3,86 25,6 ± 1,60	19,8 ± 6,22 22,6 ± 1,57
Иммуноглобулины класса G, г/л Immunoglobulins of class G, g/ l	16,2 ± 5,58 17,3 ± 11,47	17,9 ± 8,83 23,3 ± 3,73*	15,4 ± 3,48 19,9 ± 10,46	14,9 ± 7,36 17,0 ± 8,83
ЦИК, г/л Circulating immune complexes, g/l	0,2 ± 0,05 0,2 ± 0,08	0,02 ± 0,02 0,2 ± 0,06	0,1 ± 0,01 0,2 ± 0,05	0,1 ± 0,02 0,1 ± 0,02
ЛАСК, мкг/мл Serum lysozyme activity, μg/ml	0,1 ± 0,06 0,1 ± 0,01	0,1 ± 0,05 0,1 ± 0,01	0,1 ± 0,03 0,2 ± 0,02*	0,1 ± 0,05 0,1 ± 0,01
БАСК, % Serum bactericidal activity, %	70,4 ± 6,12 84,4 ± 5,07*	69,3 ± 2,68 76,1 ± 4,01*	78,1 ± 1,79 75,5 ± 1,82*	74,7 ± 5,30 57,9 ± 6,08

Примечание: над чертой – на 10-е сут (фон), под чертой – на 28-е сут жизни; * – $p < 0,05$ по сравнению с телятами контрольной группы (Note: above the line – on the 10th day (background), below the line – on the 28th day of life; * – $p < 0.05$ compared to the calves of the control group)

Таблица 5.

Содержание цитокинов в сыворотке крови телят

Table 5.

The content of cytokines in the blood serum of calves

Показатель Indicator	Группа телят | Group of calves			
	опытная | experiment			контрольная control
	3		3	
ИЛ-1β, пг/мл IL–1β, pg/ml	29,5 ± 1,86 21,1 ± 2,89*	32,1 ± 2,96 28,1 ± 1,57*	27,9 ± 2,92 30,3 ± 2,94*	29,0 ± 2,58 57,8 ± 1,09
ИЛ-4, пг/мл IL–4, pg/ml	1,8 ± 0,20 9,0 ± 1,53*	2,0 ± 0,31 6,3 ± 0,62*	2,0 ± 0,28 5,7 ± 0,73*	1,6 ± 0,34 1,4 ± 0,26
ИЛ-8, пг/мл IL–8, pg/ml	17,4 ± 2,04 3,1 ± 0,38*	19,6 ± 1,02 7,6 ± 0,72*	17,6 ± 2,24 11,6 ± 0,66*	18,2 ± 2,21 19,6 ± 0,88
ИЛ-10, пг/мл IL–10, pg/ml	1,6 ± 0,25 5,8 ± 0,58*	1,9 ± 0,42 5,1 ± 0,55*	1,8 ± 0,20 4,6 ± 0,13*	1,7 ± 0,22 2,7 ± 0,24
ИФН-γ, пг/мл IFN-γ, pg/ml	8,1 ± 1,16 11,2 ± 0,65*	9,2 ± 0,90 16,5 ± 1,60*	9,7 ± 0,78 19,3 ± 1,35*	9,5 ± 1,75 34,6 ± 4,03

Примечание: над чертой – на 10-е сут (фон), под чертой – на 28-е сут жизни; * – $p < 0,05$ по сравнению с телятами контрольной группы (Note: above the line – on the 10th day (background), below the line – on the 28th day of life; * – $p < 0.05$ compared to the calves of the control group)

У телят интактной группы на 30-е сут установлено увеличение в сыворотке крови уровня провоспалительного цитокина ИЛ-1β и ИФН-γ, обладающего противовирусным действием, в 2,0 и 3,6 раза соответственно ($p < 0,01$) по сравнению с исходным уровнем. Концентрация противовоспалительного медиатора ИЛ-10 возрастала на 58,8%, а уровень ИЛ-4 существенно не изменялся. Повышение у телят контрольной группы содержания ИЛ-10, обладающего мощным противовоспалительным и иммуномодулирующим действием, на 58,8% по сравнению с исходным уровнем ($p < 0,05$) свидетельствовало о компенсаторной реакции, направленной на ингибирование избыточного синтеза провоспалительных цитокинов.

Под влиянием кормовой добавки в сыворотке крови телят происходило увеличение концентрации ИЛ-4, направляющего развитие гуморального иммунного ответа по Th2 пути, в 2,9–5,0 ($p < 0,05$) раза и уровня противовоспалительного ИЛ-10 в 2,6–3,6 раза ($p < 0,05$) соответственно по сравнению с исходным уровнем. Содержание провоспалительного медиатора ИЛ-1β существенно не изменялось, а IL-8 снижалось в 1,5–5,6 раза ($p < 0,05$) по сравнению с исходным уровнем. Применение кормовой добавки сопровождалось повышением концентрации ИФН-γ, обладающего противовирусным действием и усиливающего цитотоксические реакции, опосредованные Т-лимфоцитами и NK-клетками, на 38,3–99,0% по сравнению с исходным уровнем ($p < 0,05$).

Заключение

Обоснованная рациональная дозировка кормовой добавки благоприятно сказывается на интенсивности роста и экстерьерных показателях молодняка сельскохозяйственных животных. Комплексное действие входящих в состав добавки компонентов способствует поддержанию нормального микробиоценоза, повышению естественной резистентности организма, что позволяет отказаться от применения кормовых антибиотиков в рационе животных.

ЛИТЕРАТУРА

1 Coura F.M., Freitas M.D., Ribeiro J., de Leme R.A. et al. Longitudinal study of Salmonella spp., diarrheagenic Escherichia coli, Rotavirus, and Coronavirus isolated from healthy and diarrheic calves in a Brazilian dairy herd // Tropical Animal Health and Production. 2015. V. 47. № 1. P. 3–11. doi: 10.1007/s11250-014-0675-5

2 Кучумова С.Ю., Полуэктова Е.А., Шептулин А.А., Ивашкин В.Т. Физиологическое значение кишечной микрофлоры // Гастроэнтерология. 2011. № 2. С. 75–78

3 Viera A.T., Teixereira M.M., Martins F.S. The role probioticics and prebiotics in inducing gut immunity // Frontiers Immunol. 2013. V. 445. № 4. P. 1–12.

4 Крапивина Е.В., Тараканов Б.В., Масленная Е.А., Иванов Д.В. и др. Уровень естественной резистентности и иммунный статус у телят-молочников при применении пробиотического препарата на основе лактобацилл // Проблемы биологии продуктивных животных. 2011. № 1. С. 78–84.

5 Крапивина Е.В., Тараканов Б.В., Масленная Е.А., Иванов Д.В. и др. Уровень естественной резистентности и иммунный статус у телят-молочников при применении пробиотического препарата на основе лактобацилл // Проблемы биологии продуктивных животных. 2011. № 1. С. 78–84.

6 Морозова Л.А., Миколайчик И.Н., Достовалов Е.В. Гематологические показатели и микробиоценоз желудочно-кишечного тракта телят при вскармливании кормовой добавки «Лактур» // Вестник ЮУрГу. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2015.№ 1(3). С. 76–82.

7 Maldonado N.C., de Ruiz C.S., Otero M.C., Sesma F. et al. Lactic acid bacteria isolated from young calves-characterization and potential as probiotics // Research in Veterinary Science. 2012. V. 92. № 2. P. 342–9. doi: 10.1016/j.rvsc.2011.03.017

8 Кравченко В.М., Черемушкина И.В., Мартеха А.Н., Новикова Ю.С. Технология производства модифицированных кормов с иммунотропным и пребиотическим действием // Вестник ВГУИТ. 2012. № 2. С. 113–115.

9 Cheremushkina I.V., Shakhov A.G., Sashnina L.Yu., Chernitsky A.E. et al. Antagonistic activity of a probiotic Prolam in point of bacterial pathogens and its influence on an intestines microbiocenosis, the immune and clinical status of calfs // Journal of Animal and Veterinary Advances. 2015. vol. 14. no 6. pp. 182-191. doi: 10.3923/javaa.2015.182-191.

10 Subbiah M., Mitchell S.M., Call D.R. Not All Antibiotic Use Practices in Food-Animal Agriculture Afford the Same Risk // Journal of Environmental Quality. 2016. V. 45 № 2. P. 618-629.

REFERENCES

1 Coura F.M., Freitas M.D., Ribeiro J., de Leme R.A. et al. Longitudinal study of Salmonella spp., diarrheagenic Escherichia coli, Rotavirus, and Coronavirus isolated from healthy and diarrheic calves in a Brazilian dairy herd. Tropical Animal Health and Production. 2015. vol. 47. no. 1. pp. 3–11. doi: 10.1007/s11250-014-0675-5

2 Kuchumova S.Yu., Poluektova E.A., Sheptulin A.A., Ivashkin V.T. The physiological significance of intestinal microflora. *Gastroehnterologiya* [Gastroenterology]. 2011. no. 2. pp. 75–78. (in Russian).

3 Viera A.T., Teixereira M.M., Martins F.S. The role probioticics and prebiotics in inducing gut immunity. Frontiers Immunol. 2013. vol. 445. no. 4. pp. 1–12.

4 Krapivina E.V., Tarakanov B.V., Maslenna E.A., Ivanov D.V. et al. The level of natural resistance and immune status in dairy calves using lactobacillus-based probiotic preparations. *Problemy biologii produktivnyh zhivotnyh* [Problems of the Biology of Productive Animals]. 2011. no. 1. pp. 78–84. (in Russian).

5 Krapivina E.V., Tarakanov B.V., Maslenna E.A., Ivanov D.V. et al. The level of natural resistance and immune status in dairy calves using lactobacillus-based probiotic preparations. *Problemy biologii produktivnyh zhivotny* [Problems of the Biology of Productive Animals]. 2011. no. 1. pp. 78–84. (in Russian).

6 Morozova L.A., Mikolajczyk I.N., Dosto-valov E.V. Hematological indices and microbiocenosis of the gastrointestinal tract of calves when feeding the Laktur feed additive. *Vestnik YuUrGu. Seriya «Pishchevye i biotekhnologii»* [Bulletin of SUSU. Food and Biotechnology series.]. 2015. no. 1 (3). pp.76–82. (in Russian).

7 Maldonado N.C., de Ruiz C.S., Otero M.C., Sesma F. et al. Lactic acid bacteria isolated from young calves-characterization and potential as probiotics. Research in Veterinary Science. 2012. vol. 92. no 2. pp. 342–9. doi: 10.1016/j.rvsc.2011.03.017

8 Kravchenko V.M., Cheremushkina I.V., Martekha A.N., Novikova Yu.S. Production technology of modified feeds with immunotropic and prebiotic effects. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2012. no. 2. pp. 113–115. (in Russian).

9 Cheremushkina I.V., Shakhov A.G., Sashnina L.Yu., Chernitsky A.E. et al. Antagonistic activity of a probiotic Prolam in point of bacterial pathogens and its influence on an intestines microbiocenosis, the immune and clinical status of calfs // Journal of Animal and Veterinary Advances. 2015. vol. 14. no 6. pp. 182-191. doi: 10.3923/javaa.2015.182-191..

10 Subbiah M., Mitchell S.M., Call D.R. Not All Antibiotic Use Practices in Food-Animal Agriculture Afford the Same Risk. Journal of Environmental Quality. 2016. vol. 45 no. 2. pp. 618-629.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ирина В. Черемушкина д.т.н., зав. кафедрой торгового дела и товароведения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г Воронеж, 394036, Россия, irinacher2010@yandex.ru

Алексей Г. Шахов д.вет.н., профессор, с.н.с. отдела экспериментальной терапии, Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии, 394087, г. Воронеж, ул. Ломоносова 114-б, A.G.Shakhov@mail.ru

Антон Е. Черницкий к.б.н., зав. лабораторией патофизиологии, Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии, ул. Ломоносова 114б, г. Воронеж, 394087, Россия, cherae@mail.ru

Наталья Н. Манилевич аспирант, кафедра торгового дела и товароведения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г Воронеж, 394036, Россия, nat-mnn@mail.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Irina V. Cheryomushkina Dr. Sci. (Engin.), trade and merchandising department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, irinacher2010@yandex.ru

Andrey G. Shakhov Dr. Sci. (Vet.), Professor, Senior Researcher of the Department of Experimental Therapy, All-Russian Research Veterinary Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy, 114b Lomonosova str., Voronezh, 394087, Russia, A.G.Shakhov@mail.ru

Anton E. Chernitskiy Cand. Sci. (Biol.), head of the laboratory of pathophysiology, All-Russian Research Veterinary Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy, 114b Lomonosova str., Voronezh, 394087, Russia, cherae@mail.ru

Natalia N. Manilevich graduate student, trade and merchandising department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, nat-mnn@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 28.11.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 12.12.2018

CONTRIBUTION

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 11.28.2018

ACCEPTED 12.12.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 640

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-298-303

Использование измерений внутреннего трения для исследования ультра- и нанофильтрации модифицированной творожной сыворотки

Людмила В. Антипова [1] antipova.l54@yandex.ru
Сергей А. Титов [1] 125titov@mail.ru
Всеволод Н. Жданов [1] sev1a@yandex.ru
Александра Н. Карпак [1] t.kuran@yandex.ru

[1] Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Предложена методика экспериментального определения внутреннего трения в пищевых материалах, а также устройство на основе крутильного маятника с лазерной регистрацией угла поворота, обеспечивающее минимальное относительное смещение слоев исследуемого материала в процессе измерений. Определение внутреннего трения основано на нахождении затухания крутильного маятника, соединенного с цилиндром, погружаемым в исследуемую среду. В качестве примера применения метода к пищевым системам, определена зависимость внутреннего трения от вязкости в растворах сахарозы и глицерина. Эта зависимость линейна для растворов сахарозы и нелинейна для растворов глицерина,, что может быть связано с особенностями взаимодействия гидратированных молекул в растворах. Приведены примеры применения измерений внутреннего трения при исследовании процессов мембранного концентрирования. Метод внутреннего трения использовался как вспомогательный реологический метод в комплексном исследовании процесса осаждения концентрируемых веществ на мембранах при ультра- и нанофильтрации молочной сыворотки. Так, показано, что, несмотря на малую по сравнению с мембраной толщину, поляризационный слой вносит значительный вклад во внутреннее трение системы «мембрана-слой». Это приводит к резкому снижению потока фильтрата творожной сыворотки через мембрану, по сравнению с потоком воды при тех же условиях. Определена зависимость внутреннего трения от концентрации в творожной сыворотке, прошедшей электрофлотационную обработку, а также тепловую изомеризацию содержащейся в ней лактозы. С помощью подобных кривых могут быть найдены связи между коэффициентом проницаемости L_p* в уравнении Кедем–Качальского и параметрами процесса нанофильтрации заданных пищевых систем.

Ключевые слова: внутреннее трение, ультрафильтрация, нанофильтрация, молочная сыворотка

The use of internal friction measurements for the study of ultra- and nanofiltration of modified curd whey

Ludmila V. Antipova [1] antipova.l54@yandex.ru
Sergey A. Titov [1] 125titov@mail.ru
Vsevolod N. Zhdanov [1] sev1a@yandex.ru
Alexandra N. Karpak [1] t.kuran@yandex.ru

[1] Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. A technique is proposed for the experimental determination of internal friction in food materials, as well as a device based on a torsion pendulum with laser registration of the angle of rotation, which ensures the minimum relative displacement of the layers of the material under study in the measurement process. The definition of internal friction is based on finding the attenuation of a torsion pendulum connected to a cylinder immersed in the medium under study. As an example of the application of the method to food systems, the dependence of internal friction on viscosity in solutions of sucrose and glycerin is determined. This dependence is linear for sucrose solutions and non-linear for glycerol solutions, which may be due to the interaction of hydrated molecules in solutions. Examples of the application of internal friction measurements in the study of membrane concentration processes are given. The method of internal friction was used as an auxiliary rheological method in a comprehensive study of the process of deposition of concentrated substances on membranes during ultra- and nanofiltration of whey. Thus, it has been shown that, despite the thinness in comparison with the membrane, the polarization layer makes a significant contribution to the internal friction of the membrane-layer system. This leads to a sharp decrease in the flow of curd whey filtrate through the membrane, compared with the flow of water under the same conditions. The dependence of internal friction on the concentration in the curd whey that underwent electroflotation treatment was determined, as well as the thermal isomerization of the lactose contained in it. Using such curves, the relationships between the permeability coefficient Lp * in the Kedem–Kachelsky equation and the parameters of the nanofiltration process of given food systems can be found.

Keywords: internal friction, ultrafiltration, nanofiltration, whey

Для цитирования

Антипова Л.В., Титов С.А., Жданов В.Н., Карпак А.Н. Использование измерений внутреннего трения для исследования ультра- и нанофильтрации модифицированной творожной сыворотки // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 298–303. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-298-303

For citation

Antipova L.V., Titov S.A., Zhdanov V.N., Karpak A.N. The use of internal friction measurements for the study of ultra- and nanofiltration of modified curd whey. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 298–303. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-298-303

Введение

Известно, что для окисления 1 л сыворотки необходимо 50 г. кислорода, что более чем в 10 раз превышает этот показатель для бытовых сточных вод [1]. Ультрафильтрация сыворотки не решает проблему образования лактозосодержащих отходов, сброс которых в канализацию приводит к серьезному ущербу для экологического состояния окружающей среды. Применение нанофильтрации способствует решению экологических задач, так как нанофильтрационные мембраны задерживают лактозу [2]. Изомеризация лактозы в лактулозу в сыворотке позволяет получить продукт с пробиотическими свойствами [3]. Нанофильтрация сыворотки после изомеризации в ней лактозы позволяет сконцентрировать ее для резкого сокращения затрат на транспортировку и хранение при реализации предприятиям-потребителям и, кроме того, позволяет расширить ассортимент выпускаемой с ее добавлением продукции за счет снижения содержания воды и солей. Кроме того, нанофильтрация позволяет получить лактулозосодержащую сыворотку с заданными характеристиками качества – содержанием сухих веществ и степенью обессоливания.

Для исследования процессов фильтрации часто применяют реологические методы. Из реологических параметров пищевого сырья и продуктов наиболее употребительной является величина вязкости. Однако кроме вязкости существует и другая величина, характеризующая диссипативные процессы в материалах, – внутреннее трение. Традиционно его измеряют в твердых телах, например, в металлах или полупроводниках и используют для выявления дефектов в структурах кристаллических твердых тел и для изучения природы этих дефектов [4–6]. Однако в последнее время появляется все больше публикаций, таких как [7], в которых описываются исследования полимеров этим методом. Возникает вопрос, можно ли использовать этот метод для исследования структурно-механических свойств систем, образованных пищевыми биополимерами или пищевыми материалами с более простой молекулярной структурой?

Часто пищевое сырье и продукты представляют собой жидкообразные системы. Для ньютоновских жидкостей величины вязкости и внутреннего трения совпадают. Однако большинство пищевых материалов проявляют свойства структурированной жидкости, вязкопластического или вязкоупругого тела, поэтому их характеризуют понятием эффективной вязкости. Ее величина зависит от условий измерения, таких, как скорость течения исследуемого материала в вискозиметре, величина зазора между ротором вискозиметра и стенками емкости с исследуемым веществом и т. д. Поэтому с помощью одного лишь параметра эффективной вязкости трудно охарактеризовать исследуемый материал, проанализировать зависимости вязкости от параметров технологического процесса, сравнить свои данные с данными других авторов. В процессе измерения эффективной вязкости в вискозиметре разрушается структура материала, в то же время для анализов физических процессов в пищевых материалах в ходе того или иного метода обработки нужны данные о неразрушенной структуре. Эти данные можно получить методом внутреннего трения.

Предложена методика измерения внутреннего трения в пищевых материалах, приведены примеры использования измерений внутреннего трения при исследованиях пищевых систем, описано применение измерений внутреннего трения для исследования баромембранных процессов.

Результаты и обсуждение

Внутреннее трение в материалах, как правило, изучают, создавая в исследуемом теле некий колебательный процесс. Колебания, искусственно созданные в теле, с течением времени затухают, упругая энергия колебания рассеивается в тепловую энергию. Различные механизмы превращения упругой энергии в тепловую объединены общим названием – внутреннее трение. Характеристикой внутреннего трения является величина:

$$\Psi = \frac{\Delta W}{W},$$

где ΔW – энергия, рассеянная за один период колебаний по всему объему образца; W – энергия колебания всего образца, отвечающая амплитудным значениям напряжения и деформации.

Можно показать, что величина внутреннего трения Ψ связана с логарифмическим коэффициентом затухания β формулой.

$$\Psi = 2 \cdot \beta,$$

где $\beta = \ln E_n / E_{n+1}$; E_n – максимальное смещение материала от положения равновесия в ходе колебаний с номером n, а E_{n+1} – то же для следующего n+1-го колебания.

Таким образом, внутреннее трение в материале можно однозначно характеризовать с помощью величины β – логарифмического декремента затухания колебаний, созданных в этом материале.

Разработана установка для определения внутреннего трения продуктов питания и пищевого сырья (рисунок 1).

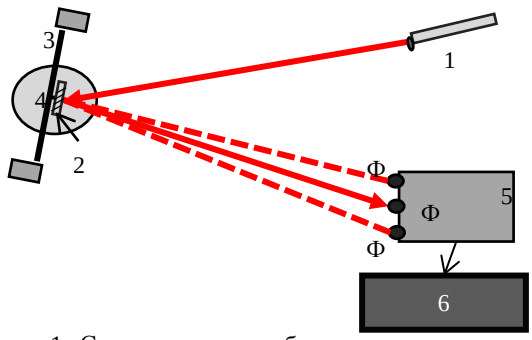


Рисунок 1. Схематическое изображение установки для определения внутреннего трения (вид сверху): 1 – лазер; 2 – зеркало; 3 – крутильный маятник; 4 – измерительный цилиндр; Ф1, Ф2, Ф3 – фотоприемники; 5 – блок сопряжения; 6 – персональный компьютер

Figure 1. Schematic diagram of the installation for determining the internal friction (top view): 1 – laser; 2 –mirror; 3 – torsional pendulum; 4 – measuring cylinder; Ф1, Ф2, Ф3 – photodetectors; 5 – interface unit; 6 – PC

Основой установки является крутильный маятник, с которым состыкован цилиндр, погружаемый в исследуемую среду. На маятнике укреплено зеркало. Световой луч, испускаемый полупроводниковым лазером, отражается от зеркала и попадает на систему фотоприемников, сигналы от которых через блок сопряжения передаются на персональный компьютер. Внутреннее трение в исследуемой среде является основной причиной затухания колебаний маятника. При колебаниях зеркала световой луч, отраженный от него, последовательно проходит через фотоприемники. В моменты прохождения луча через них блок сопряжения вырабатывает импульсы, поступающие на компьютер через параллельный порт. Программа ввода и обработки данных вычисляет декремент затухания колебательной системы. Для такого расчета программа вначале измеряет время t_n пребывания луча за пределами системы фотоприемников справа от них при колебании с номером n, т. е. с момента, когда луч прошел третий датчик $Ф_3$ до момента возвращения к этому датчику (рисунок 2). Затем строит график зависимости t_n от n. Можно показать, что эта зависимость – экспоненциальная с показателем экспоненты, линейно зависящим от декремента затухания колебаний маятника. На заключительном этапе определяется декремент затухания. Применение лазера позволяет работать с очень малыми углами отклонения маятника, соответственно относительное смещение слоев исследуемого материала в процессе измерений минимально и исследуемый материал практически не разрушается. Прибор предусматривает возможность исследования внутреннего трения в пленках с нанесенных на них слоем. Для этого полоска пленки прикрепляется к измерительному цилиндру и основанию прибора.

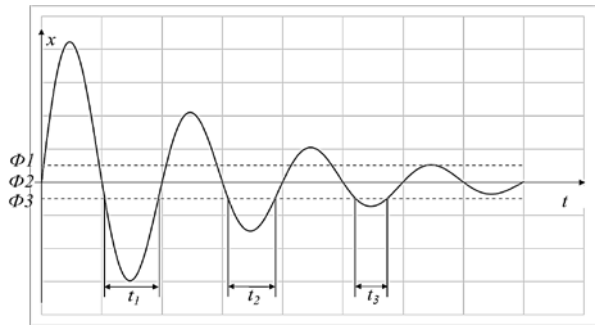
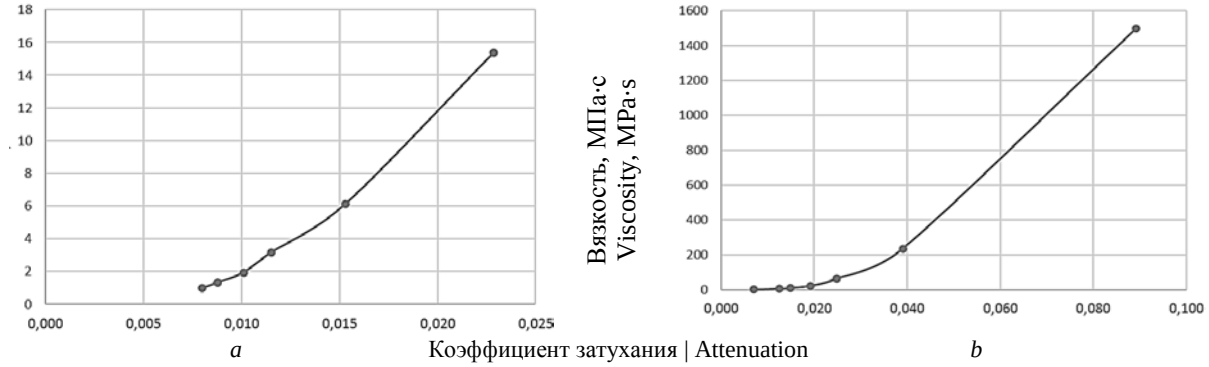


Рисунок 2. Зависимость координаты проекции луча на поверхность панели фотоприемников от времени

Figure 2. The dependence of the coordinates of the projection of the beam on the panel surface of the photodetectors from time to time

Пищевая среда в описываемом приборе для измерения внутреннего трения совпадает с геометрией ротационного вискозиметра (в обоих случаях используется цилиндр, поворачивающийся или вращающийся в исследуемой среде), следует ожидать соответствия внутреннего трения и вязкости, определенной роторным вискозиметром. На рисунке 3, *а* представлена зависимость внутреннего трения в растворах сахарозы от их вязкости. Вязкость растворов изменяли варьируя концентрацию. Видно, что зависимость внутреннего трения Ψ от вязкости η в широком диапазоне концентрации сахарозы близка к линейной.



a *b*

Рисунок 3. Зависимость вязкости от коэффициента затухания колебаний маятника при исследовании водных растворов: *а* – сахарозы (концентрация 0–60%); *b* – глицерина (концентрация 0–95%)

Figure 3. Dependence of viscosity on the damping coefficient of pendulum oscillations in the study of aqueous solutions: *a* – sucrose (concentration 0–60%); *b* – glycerin (concentration 0–95%)

Однако характеристика $\Psi(\eta)$ для водных растворов глицерина с различными концентрациями является нелинейной (рисунок 3, *b*). Можно предположить, что слабо гидратированные молекулы глицерина при высоких концентрациях раствора сильно взаимодействуют между собой, так как этому практически не препятствует гидратная оболочка. Поэтому для разрыва этих контактов при вязком течении жидкости необходима значительная энергия, что и приводит к очень большим величинам вязкости при малых концентрациях. В то же время при очень малых относительных смещениях слабо гидратированных молекул глицерина, происходящих при изменении внутреннего трения, не все молекулы разрывают взаимные связи, что и приводит к более плавному росту внутреннего трения с увеличением концентрации глицерина в области высоких концентраций. При высоких концентрациях вязкость глицерина оказывается значительной при невысоком затухании, что и обусловливает подъем графика.

Таким образом, метод внутреннего трения совместно с измерениями вязкости может быть применен при оценке характера межмолекулярных взаимодействий в гидратированных системах.

При мембранном разделении пищевых сред вблизи поверхности мембраны имеется слой с повышенной концентрацией ретентата. Он также может быть отнесен к гидратированным системам, поэтому имеется возможность исследовать процессы мембранного концентрирования методом внутреннего трения.

Процессы мембранного разделения часто анализируют с использованием расширенного уравнения Нернста–Планка или уравнения Кедем–Качальского [8]. В последнем уравнении в качестве параметра входит величина L_p*, которая имеет физический смысл, совпадающий со смыслом величины K/η в уравнении Дарси:

$$Q = \frac{KF}{\eta}\frac{\Delta p}{\Delta x},$$

где Q – общий расход фильтруемой жидкости; F – площадь сечения; η – вязкость жидкости.

Коэффициент фильтрации K в этом уравнении зависит от размера частиц, их формы, степени шероховатости, пористости среды. Если через мембрану фильтруется вода, то коэффициент K характеризует в основном проницаемость самой мембраны для воды. Однако если происходит микро-, ультра- или нанофильтрация раствора, коллоидной системы или суспензии, то на поверхности мембраны образуется поляризационный слой [9]. В этом случае фильтрация идет через систему двух проницаемых сред, одной из которых является мембрана, а другой – поляризационный слой [10].

Часто скорость фильтрации водного раствора ниже скорости фильтрации воды в несколько раз, из чего можно сделать вывод, что коэффициент фильтрации K зависит в основном от свойств поляризационного слоя, в первую очередь, от его структуры.

Чем больший вклад вносит поляризационный слой в величину внутреннего трения системы «мембрана – поляризационный слой», тем с большей вероятностью коэффициент фильтрации определяется не свойствами мембраны, а свойствами поляризационного слоя.

В качестве примера можно привести структурно-механические свойства мембран с поляризационными слоями, осаждающимися на них в процессе ультрафильтрации творожной сыворотки.

Результаты измерения внутреннего трения в мембранах показывают, что средние значения декремента затухания исходных мембран составляли 3,97 $с^{-1}$. Та же характеристика этих мембран после ультрафильтрации в течение 30 мин имела величину 4,52 $с^{-1}$ при частоте колебаний 10 Гц. Воспроизводимость результатов измерения декрементов затухания оказалась равной 0,5%. По данным просвечивающей электронной микроскопии мембран после ультрафильтрации сыворотки толщина поляризационных слоев составляет 0,75 мкм, что согласуется с данными других авторов. В то же время толщина трековой мембраны равна 10 мкм. Таким образом, несмотря на малую по сравнению с мембраной толщину, белковый слой вносит значительный вклад во внутреннее трение системы «мембрана–слой». Анализ данных электронной микроскопии в сопоставлении с литературными данными показывает, что поляризационные слои сформированы пластами β-лактоглобулина с включениями глобул α-лактоальбумина. Повышенное значение внутреннего трения в белковых слоях, видимо, обусловлено большой прочностью контактов между глобулами α-лактоальбумина с окружающими их пластами β-лактоглобулина. Производительность ультрафильтрции по сыворотке в 5–7 раз меньше производительности по воде.

Процессы структурообразования в поляризационном слое можно смоделировать, концентрируя и исследуя структурно-механические свойства раствора, подлежащего фильтрации. Однако при этом нельзя пользоваться ротационными или капиллярными вискозиметрами,

так как при их применении разрушается структура исследуемой системы. В данном случае незаменимым будет использование неразрушающих методов контроля структурно-механических свойств, таких как измерение внутреннего трения. Кроме того, при ультра- или нанофильтрации практически отсутствует течение поляризационного слоя в направлении, нормальном к поверхности мембран, поэтому в этом случае больше подходит параметр внутреннего трения, чем вязкости.

В процессах нанофильтрационного сгущения растворов сахаров на поверхности мембраны может образовываться не гелеобразный слой, а некоторый вязкий слой, концентрация которого значительно выше концентрации рабочего раствора. Здесь важную роль играет осмотическая составляющая потока растворителя, выраженная слагаемым $L_p^* \Delta\pi/\Delta x$ в уравнении Кедем–Качальского (здесь π – осмотическое давление раствора). Как видно, в это слагаемое входит коэффицент L_p^*, определяющийся проницаемостью поляризационного слоя, зависящей от внутреннего трения в нем. Поэтому и для нанофильтрации могут быть применены те же подходы, что и для ультра- и микрофильтрации при моделировании поляризационных слоев и исследовании структурно-механических свойств модельных объектов.

На рисунке 4 представлена зависимость внутреннего трения в творожной сыворотке, прошедшей электрофлотационную обработку, а также тепловую изомеризацию лактозы.

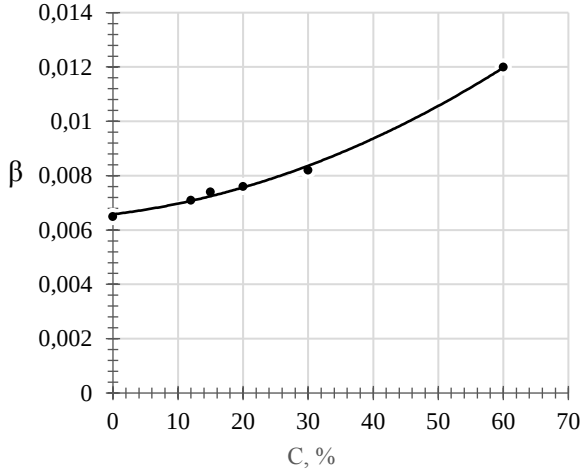


Рисунок 4. Зависимость коэффициента внутреннего трения в концентрированной после нанофильтрации сыворотке от концентрации сухих веществ

Figure 4. Dependence of the coefficient of internal friction in the serum concentrated after nanofiltration on the concentration of dry substances

Сопоставляя данные по внутреннему трению в сыворотке и растворах сахарозы, можно заметить, что кривая зависимости внутреннего трения от концентрации для сахарозы в области высоких концентраций растет значительно быстрее, чем для сыворотки. Это позволяет понять причину относительно высокой производительности нанофильтрации лактулозосодержащей флотированной сыворотки – явления, обусловливающего диссипативные эффекты фильтрации. Например, задержка потока фильтрата из-за внутреннего трения между водой и гидратированными частицами в концентрированных растворах смеси лактозы с лактулозой с примесью минеральных солей выражена слабее, чем в растворах других сахаров. Кроме того, можно сделать и чисто практический вывод – концентрировать нанофильтрацией напитки на основе флотированной сыворотки, подслащенной сахарозой, нецелесообразно из-за малой производительности процесса. Эмпирически найденные коэффициенты внутреннего трения, а также величины активности воды в сыворотке в зависимости от концентрации позволили на основе уравнений Кедем-Качальского провести расчет зависимости потока пермеата от давления и скорости тангенциального потока. Расчетные зависимости хорошо согласуются с экспериментальными.

Поэтому изучение внутреннего трения мембран с поляризационным слоем или модельных концентрированных растворов или гелей дает возможность оценить степень уменьшения скорости фильтрации из-за отложения высокомолекулярных веществ на мембране. Это в перспективе позволяет строить зависимости коэффициента проницаемости L_p^* в уравнении Кедем-Качальского от параметров процесса фильтрации заданных пищевых систем.

В отличие от вискозиметра приборы для измерения внутреннего трения способны измерять характеристики как жидкости, так и твердых тел, что делает их удобными для изучения фазовых переходов воды пищевых продуктов. Примерами могут быть кристаллизация влаги в процессе замораживания пищевых продуктов и ее испарение в процессах их сушки.

Заключение

Метод внутреннего трения, в случае совместного применения с другими физическими методами, может дать ценную информацию о физических процессах в ходе ультра- или нанофильтрации творожной сыворотки.

ЛИТЕРАТУРА

1 Храмцов А.Г. Феномен молочной сыворотки. СПб: Профессия, 2011. 804 с.

2 Синельников Б.М., Храмцов А.Г., Евдокимов И.А., Рябцева С.А. и др. Лактоза и ее производные. СПб: Профессия, 2007. 768 с.

3 Леонов В.Ю. Лактулоза: диапазон использования в пищевой промышленности // Кондитерское и хлебопекарное производство. 2011. № 10. С. 34–35.

4 Скворцов А.И., Плюснин Е.С., Скворцов А.А. Особенности амплитудной зависимости внутреннего трения и структура отожженного циркония // Вестник Тамбовского университета. 2016. Т. 21. № 3. С. 830–832.

5 Биланич В.С. Бучук Р.Ю., Петриченков А.Е., Скубенич Н.К. и др. Внутреннее трение в суперионных кристаллах Cu_6 PS_5 Br и композитах на их основе // Физика твердого тела. 2014. Т. 56. № 4. С. 711–716.

6 Блантер М.С. Что такое внутреннее трение // Соросовский образовательный журнал. 2004. Т. 8. № 1. С. 80–85.

7 Колупаев Б.Б., Левчук В.В., Максимцев Ю.Р., Колупаев Б.С. Вязкоупругие модули и внутреннее трение металлонаполненного поливинилхлорида // Акустический вестник. 2013–2014. Т. 16. № 1. С. 27–32.

8 Auclair B., Nikonenko V., Larchet C., Metayer M. et al. Correlation between transport parameters of ion-exchange membranes // Journal of Membrane Science. 2002. V. 195. P. 89–102.

9 Hua X. Coupled model of extended Nernst–Planck equation and film theory in nanofiltration for xylo-oligosaccharide syrup // Journal of Food Engineering. 2010. V. 100. №. 2. P. 302–309.

10 .Deon S. Dutournie P., Limousy L., Bourseau P. The two-dimensional pore and polarization transport model to describe mixtures separation by nanofiltration: Model validation // AIChE Journal. 2010. № 57(4). P. 985–995.

11 Nooshkam M., Madadlou A. Microwave-assisted isomerisation of lactose to lactulose and Maillard conjugation of lactulose and lactose with whey proteins and peptides // Food Chemistry. 2016. V. 200. P. 1–9.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Людмила В. Антипова д.т.н., профессор, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, antipova.l54@yandex.ru

Сергей А. Титов д.т.н., профессор, кафедра физики, теплотехники и теплоэнергетики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, 125titov@mail.ru

Всеволод Н. Жданов аспирант, кафедра физики, теплотехники и теплоэнергетики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, sev1a@yandex.ru

Александра Н. Карпак магистрант, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, t.kuran@yandex.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 27.11.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 13.12.2018

REFERENCES

1 Hramcov A.G. Fenomen molochnoj syvorotki [Whey phenomenon]. Saint Petersburg, Ppofecciya, 2011. 804 p. (in Russian).

2 Sinel'nikov B.M., Hramcov A.G., Evdokimov I.A., Ryabceva S.A. et al. Laktoza i ee proizvodnye [Lactose and its derivatives]. Saint Petersburg, Ppofecciya, 2007. 768 p. (in Russian).

3 Leonov V.Yu. Lactulose: range of use in the food industry. *Konditerskoe i hlebopekarnoe proizvodstvo* [Confectionery and bakery production]. 2011. no. 10. pp. 34–35. (in Russian).

4 Skvorcov A.I., Plyusnin E.S., Skvorcov A.A. Features of the amplitude dependence of internal friction and the structure of annealed zirconium. *Vestnik Tambovskogo universiteta* [Bulletin of Tambov University]. 2016. vol. 21. no. 3. pp. 830–832. (in Russian).

5 Bilanich V.S. Buchuk R.Yu., Petrichenkov A.E., Skubenich N.K. et al. Internal Friction in Cu6 PS5 Br Superionic Crystals and Composites Based on Them. *Fizika tverdogo tela* [Physics of the Solid]. 2014. vol. 56. no. 4. pp. 711–716. (in Russian).

6 Blanter M.S. What is internal friction. *Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal* [Soros Educational Journal]. 2004. vol. 8. no. 1. pp. 80–85. (in Russian).

7 Kolupaev B.B., Levchuk V.V., Maksimcev Yu.R., Kolupaev B.S. Viscoelastic modules and internal friction of metal-filled polyvinyl chloride. *Akusticheskij vestnik* [Acoustic Bulletin]. 2013–2014. vol. 16. no 1. pp. 27–32. (in Russian).

8 Auclair B., Nikonenko V., Larchet C., Metayer M. et al. Correlation between transport parameters of ion-exchange membranes. Journal of Membrane Science. 2002. vol. 195. pp. 89–102.

9 Hua X. Coupled model of extended Nernst–Planck equation and film theory in nanofiltration for xylo-oligosaccharide syrup. Journal of Food Engineering. 2010. vol. 100. no. 2. pp. 302–309.

10 Deon S. Dutournie P., Limousy L., Bourseau P. The two-dimensional pore and polarization transport model to describe mixtures separation by nanofiltration: Model validation. AIChE Journal. 2010. no. 57 (4). pp. 985–995.

11 Nooshkam M., Madadlou A. Microwave-assisted isomerisation of lactose to lactulose and Maillard conjugation of lactulose and lactose with whey proteins and peptides. Food Chemistry. 2016. vol. 200. pp. 1–9.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Ludmila V. Antipova Dr. Sci. (Engin.), professor, department of technology of animal products, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, antipova.l54@yandex.ru

Sergey A. Titov Dr. Sci. (Engin.), professor, department of physics, heating engineering and heat power engineering, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, 125titov@mail.ru

Vsevolod N. Zhdanov graduate student, department of physics, heating engineering and heat power engineering, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, sev1a@yandex.ru

Alexandra N. Karpak master student, department of technology of fermenting and sugary industries, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, t.kuran@yandex.ru

CONTRIBUTION

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 11.27.2018

ACCEPTED 12.13.2018

Химическая технология

Оригинальная статья/Original article

УДК 66.097.3

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-304-311

Совмещенный синтез и гидрооблагораживание углеводородов на кобальтовом цеолитсодержащем катализаторе

Роман Е. Яковенко [1] jakovenko39@gmail.com
Иван Н. Зубков [1] 71650021.qwe@mail.ru
Светлана В. Некроенко [1] svetlananekroenko@yandex.ru
Ольга П. Папета [1] papeta.olga@bk.ru

[1] Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, ул. Просвещения, 132, г Новочеркасск, 346428, Россия

Аннотация. Разработан композитный Co-Al_2O_3/SiO_2/HZSM-5 катализатор для одностадийного синтеза углеводородов топливного ряда из CO и H_2. Катализатор получен смешением и формованием порошков Co-Al_2O_3/SiO_2 катализатора, цеолита HZSM-5 и бемита Al(O)OH·H_2O. Физико-химическими методами РФА, ПЭМ, БЭТ установлен фазовый состав катализатора, размер частиц кобальта (8,2±1 нм), площадь его удельной поверхности (286 $м^2$/г). Проведены испытания в синтезе углеводородов из CO и H_2 в непрерывном режиме в течение 60 ч при температуре 240 °С, давлении 2,0 МПа, объемной скорости газа 1000 $ч^{-1}$. Показано, что на синтез-газе, разбавленном на 40% азотом, возможно получать жидкие углеводороды C_{5+} с селективностью 69% и производительностью 81 кг/($м^3$·ч). Выход углеводородов C_{5+} составил 70 г/$м^3$ пропущенного синтез-газа и 135 г/$м^3$ превращённого синтез-газа. Синтетическая нефть имеет молекулярно-массовое распределение близкое к мономодальному (вероятность роста цепи составляет 0,81), на 88% состоит из бензиновой и дизельной фракций и на 12% из длинноцепочечных углеводородов C_{19+}. Отношение количества углеводородов изомерного строения к углеводородам нормального строения (изо/н) составляет 1,26, а отношение углеводородов олефинового ряда к углеводородам парафинового ряда – 0,97. В бензиновой фракции углеводородов (C_5-C_{10}) отмечено высокое содержание алкенов нормального и разветвленного строения (76,3 %), доля изо-алканов и н-алканов составляет 10,8 и 12,9% соответственно. Катализатор показал стабильную работу, скорость его дезактивации сопоставима со скоростью дезактивации коммерческого бифункционального катализатора.

Ключевые слова: композитный катализатор, синтез Фишера-Тропша, цеолит, гидрокрекинг, синтетические углеводороды

Combined synthesis and hydroprocessing on a cobalt catalyst on a cobalt-containing zeolite catalyst

Roman E. Yakovenko [1] jakovenko39@gmail.com
Ivan N. Zubkov [1] 71650021.qwe@mail.ru
Svetlana V. Nekroenko [1] svetlananekroenko@yandex.ru
Olga P. Papeta [1] papeta.olga@bk.ru

[1] Platov South-Russian State Polytechnic University(NPI), Prosveshcheniya Str., 132 Novocherkassk, 346424, Russia

Abstract. A composite Co-Al_2O_3/SiO_2/HZSM-5 catalyst has been developed for one-step synthesis of fuel series hydrocarbons from CO and H_2. The catalyst was obtained by mixing and forming powders with a Co-Al_2O_3/SiO_2 catalyst, zeolite HZSM-5, and boehmite Al(O)OH·H_2O. The physicochemical methods XRD, PEM, BET established the phase composition of the catalyst, the particle size of cobalt (8.2 ± 1 nm), its specific surface area (286 m2/g). Tests were carried out in the synthesis of hydrocarbons from CO and H2 for 60 hours at a temperature of 240 ° C, a pressure of 2.0 MPa, and a gas flow rate of 1000 h^{-1}. It is shown that synthesis gas diluted by 40% with nitrogen can produce liquid C_5+ hydrocarbons with a selectivity of 69% and a productivity of 81 kg/(m^3·h). The yield of C_{5+} hydrocarbons was 70 g/m^3 of the leaked synthesis gas and 135 g/m^3 of the converted synthesis gas. Synthetic oil has a molecular mass distribution close to monomodal (the probability of chain growth is 0.81), 88% consists of gasoline and diesel fractions and 12% of long-chain C_{19+} hydrocarbons. The ratio of isomeric hydrocarbons to normal hydrocarbons (iso/n) is 1,26, and the ratio of olefinic hydrocarbons to paraffinic hydrocarbons is 0,97. In the gasoline fraction of hydrocarbons (C_5-C_{10}), a high content of alkenes of normal and branched structure (76,3%) is noted, the proportion of iso-alkanes and n-alkanes is 10,8 and 12,9%, respectively. The catalyst showed stable operation, the rate of its deactivation is comparable to the rate of deactivation of a commercial bifunctional catalyst.

Keywords: composite catalyst, Fischer-Tropsch synthesis, zeolite, hydrocracking, synthetic hydrocarbons

Введение

В настоящее время во всем мире большое количество исследований и разработок направлено на получение моторных топлив и сырья для нефтехимических производств из ненефтяного сырья (природный и попутный нефтяной газ, уголь, торф, биомасса и др.). Актуальность этого направления обусловлена большими запасами природного газа и угля, а также наличием возобновляемых источников углерода (биомасса пищевого и непищевого происхождения).

Для цитирования
Яковенко Р.Е., Зубков И.Н., Некроенко С.В., Папета О.П. Совмещенный синтез и гидрооблагораживание углеводородов на кобальтовом цеолитсодержащем катализаторе // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 304–311. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-304-311

For citation
Yakovenko R.E, Zubkov I.N., Nekroenko S.V., Papeta O.P. Combined synthesis and hydroprocessing on a cobalt catalyst on a cobalt-containing zeolite catalyst. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 304–311. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-304-311

Переработка любого углеродсодержащего сырья в углеводороды топливного и нефтехимического назначения получила название XTL технология или «нечто в жидкость». XTL включает технологии переработки газа (Gas–to–Liquids), угля (Coal–to–liquids) и биомассы (Biomass–to–Liquids) [1–3]. Технология XTL состоит из трёх стадий: 1 – превращение углеродсодержащего сырья в синтез-газ (смесь водорода и монооксида углерода); 2 – получение углеводородов по методу Фишера-Тропша (ФТ); 3 – облагораживание (гидрокрекинг и/или гидроизомеризация) продуктов синтеза второй стадии процесса. Третья стадия необходима для увеличения выхода моторных фракций углеводородов и доведения их свойств до требований стандартов. В настоящее время активно ведутся исследования, направленные на объединение второй и третьей стадий процесса и получение высококачественных топлив из синтез-газа в одну стадию. Осуществить это возможно за счет применения катализаторов, включающих в себя функции синтеза ФТ и гидрооблагораживания [4–7]. В качестве катализаторов синтеза ФТ используют кобальтовые катализаторы на носителях SiO_2, Al_2O_3, TiO_2, основной компонент катализаторов гидрооблагораживния – цеолиты ZSM-5, HY, MOR, β и др. [8–13].

В ЮРГПУ(НПИ) разработан кобальтсиликагелевый катализатор синтеза ФТ для селективного получения длинноцепочечных углеводородов из CO и H_2 [14]. В работе представлены результаты создания на его основе композитного цеолитсодержащего катализатора для одностадийного синтеза углеводородов топливного ряда из CO и H_2.

Материалы и методы

Методика приготовления катализатора

Композитный катализатор готовили смешением порошков (фракция < 0,1 мм) $Co\text{-}Al_2O_3/SiO_2$ катализатора синтеза ФТ, цеолита HZSM-5 и связующего – бемита. Катализатор ФТ, содержащий 20% масс. Co и 1% масс. Al_2O_3, был приготовлен в промышленных условиях на АО «Самарский завод катализаторов» по методике, описанной в работах [14, 15]. Использовали цеолит HZSM-5 (Si/Al = 40) в H-форме производства ООО «Ишимбайский специализированный химический завод катализаторов» [16]; бемит $AlOOH \cdot H_2O$ (ТН 80) производства компании Sasol. Для пластификации в смесь порошков прибавляли водно-спиртовой раствор триэтиленгликоля с азотной кислотой и перемешивали до пастообразного состояния. Цилиндрические гранулы композитного катализатора диаметром 2 мм и длиной 3 мм формовали методом экструзии, сушили 24 ч на воздухе при температуре 20–25 °С и подвергали термообработке по режиму: 80 ºС – 4 ч; 100, 120, 140 ºС – 1 ч и 400 ºС – 4 ч. Полученный композитный катализатор имеет состав (в % масс.): 35 – $Co\text{-}Al_2O_3/SiO_2$, 30 – HZSM-5 и 35 – Al_2O_3.

Методики исследований физико-химических и каталитических свойств катализатора

Содержание кобальта в катализаторе определяли методом рентгенофлуоресцентого анализа (РФлА) на спектрометре ARLQUANT'X (Thermo Scientific, Швейцария) при следующих условиях: среда – воздух, тефлоновая подложка, эффективная площадь облучения 48,99 мм^2.

Рентгенофазовый анализ (РФА) катализаторов производили на дифрактометре Thermo Scientific ARLX'TRA Powder Diffractometer с монохроматизированным Cu Kα-излучением методом сканирования по точкам (шаг 0,01°, время накопления в точке 2 с) в интервале 2θ от 5 до 90°. Определение качественного фазового состава было выполнено с помощью PDF-2 в программном комплексе Crystallographica [17].

Просвечивающую электронную микроскопию (ПЭМ) катализатора осуществляли на микроскопе Tecnai G^2 SpiritBioTWIN (FEI, США) с ускоряющим напряжением 120 кВ. Образцы предварительно восстанавливали азото-водородной смесью (H_2 10% по объему) при линейном нагреве от комнатной температуры до 500 ºС в течение 1 ч.

Удельную поверхность катализатора по методу БЭТ определяли на приборе ChemiSorb 2750 (Micromeritics, США). Предварительно образцы дегазировали в токе гелия при 200 °С для удаления влаги и других адсорбированных газов в течение 1 ч.

Синтез углеводородов осуществляли на лабораторной установке (рисунок 1) в проточном реакторе со стационарным слоем катализатора (10 см^3), разбавленного кварцевой крошкой (30 см^3). Катализатор предварительно восстанавливали в токе водорода в течение 1 ч при температуре 400 °С и объемной скорости газа (ОСГ) 3000 ч$^{-1}$. Затем температуру снижали до 180 °С, устанавливали требуемые технологические параметры (Р = 2,0 МПа, ОСГ 1000 ч$^{-1}$, H_2/CO = 2) и ступенчато (2,5 °С · ч$^{-1}$) поднимали температуру до 240 °С.

Газообразные продукты синтеза анализировали на хроматографе «Кристалл 5000» (Хроматэк, Россия) с детектором по теплопроводности и двумя колонками Haysep R и NaX.

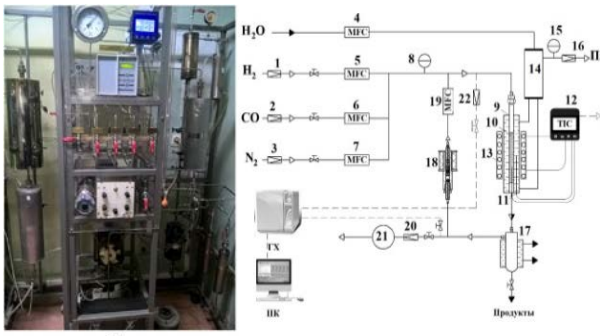


Рисунок 1. Фото и технологическая схема установки синтеза углеводородов: 1, 2, 3, 20 – регуляторы давления; 4, 5, 6, 7, 16, 19 – регуляторы расхода газа; 8,15 – манометры; 9 – реактор; 10 – термопарный чехол; 11 – термопары; 12 – регулятор температуры; 13 – печь; 14 – паросборник; 17 – сборник-сепаратор; 18 – циркуляционный насос; 21 – газовый счётчик

Figure 1. Photo and flow diagram of the installation of hydrocarbon synthesis: 1, 2, 3, 20 – pressure regulators; 4, 5, 6, 7, 16, 19 – gas flow regulators; 8,15 – manometers; 9 – reactor; 10 – thermocouple housing; 11 – thermocouples; 12 – temperature regulator; 13 – reactor electrical furnace; 14 – steam chest; 17 – liquid products separator; 18 – recirculating pump; 21 – gasometer

Полученные жидкие углеводороды C_{5+} подвергали фракционированию, выделяя фракции углеводородов в зависимости от температуры кипения (н.к. – 180 °С, 180–330 °С, > 330 °С). Индивидуальный и групповой состав фракций устанавливали методом капиллярной газожидкостной хромато-масс-спектрометрии на газовом хроматографе Agilent GC 7890 с масс-селективным детектором MSD 5975C и капиллярной колонкой HP-5MS.

Результаты и обсуждение

Рентгенограммы исходного Co-Al_2O_3/SiO_2 катализатора, цеолита HZSM-5 и полученного на их основе композитного катализатора представлены на рисунке 2.

Для цеолита наблюдаются рефлексы в области углов 2θ ≈ 7–30°. Интенсивные максимумы на рентгенограмме, характерные для структурного типа цеолита ZSM-5 [18], зафиксированы при углах: 7,92; 7,94; 13,95; 14,77; 23,08; 23.25; 23,40; 29,83; 45,20°. Исследуемый образец цеолита обладает высокой фазовой чистотой и степенью окристаллизованности. В образцах Co-Al_2 O_3/SiO_2 катализатора и композитного катализатора на его основе присутствует фаза оксида кобальта Co_3O_4 в диапазоне углов 2θ ≈ 18–65°. В композитном катализаторе зафиксирована фаза цеолита ZSM-5 и нестехиометрического оксида алюминия формулой $Al_{2.666}$ $O_{3.999}$, имеющих кубическую структуру шпинели дефектного типа [19].

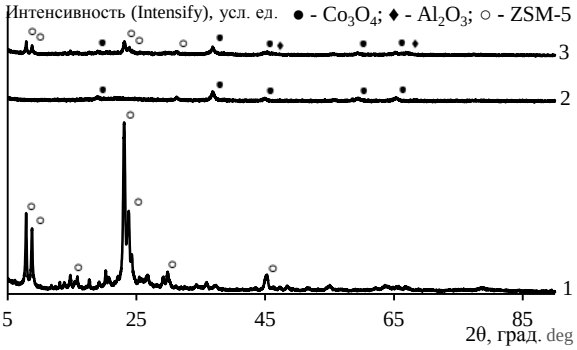


Рисунок 2. Рентгенограммы цеолита ZSM-5 (1), Co-Al_2 O_3/SiO_2 (2) и Co-Al_2 O_3/SiO_2/ZSM-5/Al_2 O_3 катализаторов (3)

Figure 2. X-ray diffraction pattern of the ZSM-5 (1), Co-Al_2 O_3/SiO_2 (2) and Co-Al_2 O_3/SiO_2/ZSM-5/Al_2 O_3 catalysts (3)

Средний размер кристаллитов Co_3 O_4 (таблица 1) в исходном и композитном катализаторах был рассчитан по уравнению Шеррера [20] для наиболее интенсивной характеристической линии со значением 2θ = 36,8°.

Таблица 1.

Физико-химические свойства катализаторов

Table 1.

Physico-chemical properties of catalysts

Катализатор Catalyst	c(Co), %	$S_{уд}$, $м^2/г$	Размер частиц, нм | Particle size, nm		
			d(Co_3 O_4)*	d(Co^0)*	d(Co^0)**
Co-Al_2O_3/SiO_2	22,8	239	20,0	15,0	8,0 ± 1
35%Co-Al_2O_3/ SiO_2 + 30% ZSM-5 + 35% Al_2O_3	7,4	286	14,5	11,0	8,2 ± 1

* По результатам РФА, ** по результатам ПЭМ c(Co), % – концентрация кобальта в катализаторе; D – дисперсность металлического кобальта (Co^0); $S_{уд}$, $м^2/г$ – площадь удельной поверхности.

* Based on the results of the RFA, ** Based on the results of FEM c(Co), % – Cobalt concentration in the catalyst; D – Dispersion of metallic cobalt (Co^0); S_{Ud}, m^2/g – Area of specific surface.

Концентрация кобальта в композитном катализаторе составляет 7,4%, площадь удельной поверхности – 286 м^2/г. Размер частиц кобальта, оцененный по уравнению Шеррера для исходного и композитного катализатора, составляет соответственно 15 и 11 нм. Анализ диаграммы распределения кристаллитов кобальта по размерам для композитного катализатора, полученной с помощью ПЭМ (рисунок 3), дает средневзвешенный размер частиц кобальта в композитном катализаторе около 8,2 нм, что практически совпадает с полученным ранее значением 8 нм [14] для катализатора Co-Al_2O_3/SiO_2. Таким образом, присутствие цеолита и бемита в составе композитного катализатора не оказывает влияния на размер кристаллитов кобальта.

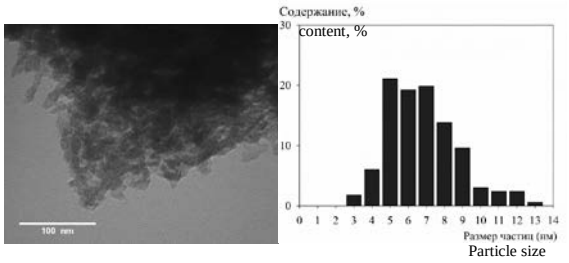


Рисунок 3. ПЭМ микрофотографии восстановленного композитного катализатора и гистограммы распределения размера частиц кобальта

Figure 3. TEM micrographs of reduced composite catalyst and histograms of cobalt particle size distribution

Активность катализатора определяли на синтез-газе (% об.: CO – 20; H_2 – 40; N_2 – 40), моделирующем состав газа, получаемый при использовании на первой стадии технологии XTL в качестве окислителя воздуха вместо кислорода [21, 22]. Использование дешевого и доступного окислителя позволит сократить капитальные и эксплуатационные затраты при создании производства XTL, а присутствие в синтез-газе азота уменьшить вероятность перегрева катализатора ФТ.

Результаты каталитических испытаний представлены на рисунках 4, 5 и в таблице 2.

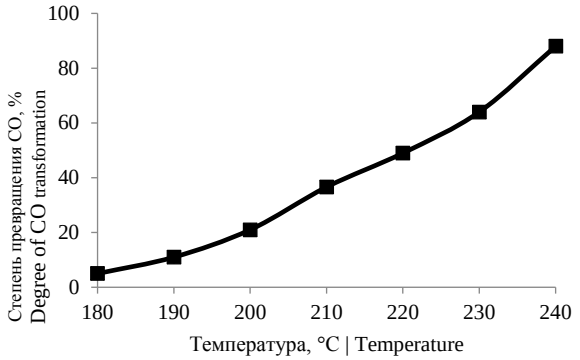


Рисунок 4. Зависимость степени превращения CO от температуры синтеза

Figure 4. Dependence of CO conversion on synthesis temperature

Испытанный образец композитного катализатора активен во всем исследованном диапазоне температуры. С ростом температуры от 180 до 240 °С наблюдается увеличение конверсии CO с 5 до 87%. В среднем увеличение температуры синтеза на 10 °С приводит к росту конверсии CO на 15%. При температуре синтеза 240 °С осуществляли синтез в течение 60 ч, усредненные каталитические характеристики за этот промежуток времени представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Каталитические свойства композитного катализатора (P = 2,0 МПа, ОСГ 1000 ч$^{-1}$, T = 240 °С)

Table 2.

Catalytic properties of the composite catalyst (P = 2,0 МПа, GHSV 1000 ч$^{-1}$, T = 240 °С)

Конверсия (Conversion), %		Селективность (Selectivity), %				Производительность (productivity) по C_{5+}, кг/(м^3·ч)
CO	H_2	CH_4	C_2-C_4	C_{5+}	CO_2	
84,0	91,1	17,3	9,4	69,1	4,1	81,0

В исследованных условиях синтеза на композитном катализаторе достигается достаточно глубокая конверсия сырья: степень превращения CO и H_2 составляет 84,0 и 91,1% соответственно. Большая на 7% степень превращения H_2 является следствием протекания реакции метанирования, на которую расходуется водорода больше, чем на образование углеводородов C_{5+} (соотношение H_2/CO на реакцию метанирования – 3, на образование углеводородов C_{5+} – 2). Селективность по метану составляет 17,3%, по углеводородам C_2–C_4 – 9,3%. Отношение селективности по метану к селективности по углеводородам C_2–C_4 (S_{CH4}/S_{C2-C4}) на исходном Co-Al_2 O_3/SiO_2 катализаторе в близких условиях синтеза [14] составляло 1,27. На композитном катализаторе этот показатель увеличился до 1,87 за счет роста селективности по метану. Это может указывать на то, что метан образуется не только в результате первичного синтеза углеводородов из CO и H_2, а также в результате вторичных превращений углеводородов C_{5+}. Действительно, введение в состав катализатора цеолита ZSM-5 и Al_2O_3 в качестве связующего

может способствовать протеканию реакций крекинга углеводородов C_{5+} с образованием метана [23]. Селективность по углеводородам C_{5+} составляет 69,1%, по CO_2 – 4,1%. Образование CO_2 в условиях синтеза ФТ происходит по реакции водяного газа [24], скорость которой возрастает с увеличением температуры и парциального давления водяного пара. Достигнута производительность катализатора по углеводородам C_{5+} 81 кг/(м^3·ч), выход этих продуктов составил 70 г/м^3 пропущенного синтез-газа и 135 г/м^3 превращённого синтез-газа.

Зависимость степени превращения CO от времени синтеза представлена на рис. 5. О скорости дезактивации катализаторов судили по параметру R (%·ч$^{-1}$), показывающему на сколько процентов уменьшается конверсия CO за 1 час работы катализатора. R определяли по формуле:

$$R = \frac{X^{н}_{CO} - X^{к}_{CO}}{\tau},$$

где $X^{н}_{CO}$ – начальная степень конверсии CO, %; $X^{к}_{CO}$ – конечная степень конверсии CO, %; τ – промежуток времени от $X^{н}_{CO}$ до $X^{к}_{CO}$, ч.

В целом катализатор показал закономерное снижение конверсии CO во времени [25]. Скорость дезактивации оценивали на трёх участках работа катализатора (каждые 20 ч синтеза). В первые 20 ч синтеза наблюдается наибольшая скорость дезактивации, равная 0,18%·ч$^{-1}$, на втором участке скорость дезактивации несколько снижается и составляет 0,15%·ч$^{-1}$. На третьем участке катализатор показал самую стабильную работу R = 0,03%·ч$^{-1}$.

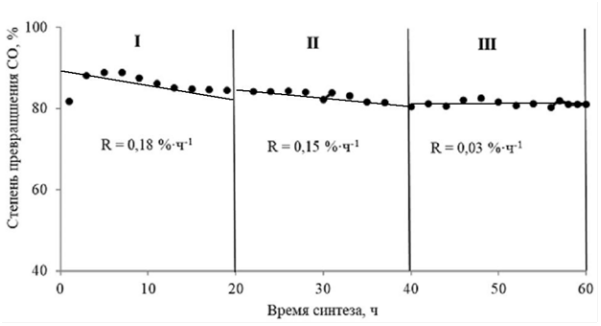


Рисунок 5. Зависимость изменения степени превращения CO от времени синтеза

Figure 5. Effect of time on stream on CO conversion

Активацию катализатора реакционной средой осуществляли в течение 24 ч путем поднятия температуры со скоростью 2,5 °С/ч от 180 до 240 °С. По-видимому, на первых двух участках продолжает происходить стабилизация катализатора под действием реакционной среды, что может приводить к изменению степени восстановления кобальта и его размеров. Скорость дезактивации композитного катализатора на третьем участке сопоставима со скоростью дезактивации коммерческого (7,5 Co – 0,19% Ru/75% ZSM-5/17%/Al_2O_3) катализатора компании «Chevron» (R = 0,05% · ч$^{-1}$) [26].

Состав полученных углеводородов C_{5+} представлен в таблице 3.

Таблица 3.

Фракционный и групповой состав продуктов синтеза

Table 3.

Fractional and group composition of synthesis products

Группа углеводородов Hydrocarbon Group	Фракционный состав углеводородов, % масс. Fractional composition of hydrocarbons			∑		*изо/н**	о/п**
	C_5-C_{10}	C_{11}-C_{18}	C_{19}+				
н-алканы | n-alkanes	7,2	14,7	11,0	32,9	50,7	1,26	0,97
изо-алканы| iso-alkane	6,0	10,5	1,3	17,8			
н-алкены| n-alkenes	10,1	1,3	–	11,4	49,3		
разв.-алкены| r.-alkenes	32,5	5,3	0,1	37,9			
Итого | Total	55,8	31,8	12,4	100			

* Изо/н – отношение углеводородов изостроения к углеводородам нормального строения; о/п – отношение олефиновых углеводородов к парафиновым.

* Iso/n – The ratio of isobuilding hydrocarbons to normal building hydrocarbons; o/p – The ratio of oleic hydrocarbons to paraffin.

Полученные углеводороды C_{5+} состоят преимущественно из бензиновой и дизельной фракций, содержание которых составляет 55,8 и 31,8% соответственно. Содержание длинноцепочечных углеводородов C_{19+} составляет 12,4%. В продуктах синтеза присутствует значительное количество разветвленных и ненасыщенных углеводородов. Отношение количества углеводородов изомерного строения к углеводородам нормального строения (изо/н) составляет 1,26, а отношение углеводородов олефинового ряда к углеводородам парафинового ряда составляет 0,97. В бензиновой фракции углеводородов (C_5-C_{10}) отмечено высокое содержание алкенов нормального и разветвленного строения (76,3%), доля изо-алканов и н-алканов составляет 10,8 и 12,9% соответственно. По групповому составу бензиновая фракция сопоставима с бензином каталитического крекинга [27]. Можно сделать предположение, что этот бензин будет обладать высокой антидетонационной способностью, но низкой химической стабильностью вследствие

большого содержания ненасыщенных углеводородов. Его возможно использовать в качестве добавки к прямогонному бензину или бензину каталитического риформинга. Дизельная фракция на 46,0% состоит из н-парафинов и на 49,7% – из углеводородов изостроения. Такое сочетание углеводородов будет способствовать высокому цетановому числу и хорошим низкотемпературным свойствам (температура помутнения, предельная температура фильтруемости). Углеводороды C_{19+} состоят преимущественно из н-алканов, доля которых составляет 88,7%, алкены присутствуют в следовых количествах (0,8%).

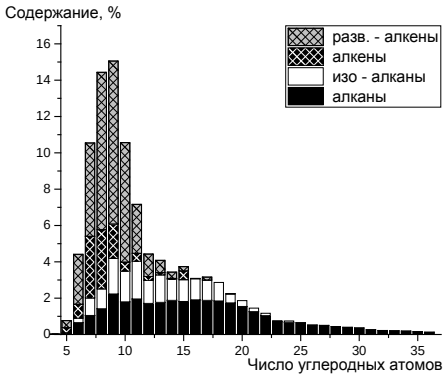


Рисунок 6. Молекулярно-массовое распределение продуктов синтеза на композитном катализаторе

Figure 6. Molecular weight distribution of synthesis products on a composite catalyst

Полученная синтетическая нефть имеет молекулярно-массовое распределение, близкое к мономодальному (рисунок 6). При этом максимум кривой распределения приходится на углеводороды C_7–C_{10}. В продуктах синтеза присутствуют углеводороды до C_{35}. Вероятность роста цепи (α) составляет 0,81.

Заключение

Использование $Co\text{-}Al_2O_3/SiO_2$ катализатора в сочетании с цеолитом ZSM-5 позволило получить композитный катализатор, который позволяет из синтез-газа, разбавленного азотом, получать жидкие углеводороды C_{5+} с селективностью 69,0% и производительностью 81,0 кг/(м^3·ч). Полученная синтетическая нефть практически на 90% состоит из бензиновой и дизельной фракций, в которых в значительном количестве (55%) присутствуют углеводороды изомерных структур. Катализатор показал стабильную работу, скорость его дезактивации сопоставима со скоростью дезактивации коммерческого бифункционального катализатора.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-33-00946\18 с использованием оборудования ЦКП «Нанотехнологии» ЮРГПУ (НПИ).

ЛИТЕРАТУРА

1 King D.L., Klerk A. Overview of Feed-to-Liquid (XTL) Conversion // ACS Symposium Series. 2011. V. 1084. P. 1–24. doi: 10.1021/bk-2011–1084.ch001

2 Крылова А.Ю., Куликова М.В., Лапидус А.Л. Катализаторы синтеза Фишера-Тропша для процессов получения жидких топлив из различного сырья // Химия твердого топлива. 2014. № 4. С. 18–21. doi: 10.7868/S0023117714040070

3 Мордкович В.З., Синева Л.В., Кульчаковская Е.В., Асалиева Е.Ю. Четыре поколения технологии получения синтетического жидкого топлива на основе синтеза Фишера-Тропша // Катализ в промышленности. 2015. № 5. С. 23–45. doi: 10.18412/1816–0387–2015–5–23–45

4 Carvalho A., Marinova M., Batalha N., Marcilio N.R. et al. Design of nanocomposites with cobalt encapsulated in the zeolite micropores for selective synthesis of isoparaffins in Fischer-Tropsch reaction // Catalysis Science & Technology. 2017. V. 7. № 21. P. 5019–5027. doi: 10.1039/C7CY01945A

5 Kim J., Lee S., Cho K., Na K. et al. Mesoporous MFI Zeolite Nanosponge Supporting Cobalt Nanoparticles as a Fischer–Tropsch Catalyst with High Yield of Branched Hydrocarbons in the Gasoline Range // ACS Catalysis. 2014. V. 4. P. 3919–3927. doi: 10.1021/cs500784v

6 Sartipi S., Dijk J.E., Gascon J., Kapteijn F. Toward bifunctional catalysts for the direct conversion of syngas to gasoline range hydrocarbons: H-ZSM-5 coated Co versus H-ZSM-5 supported Co // Applied Catalysis A: General. 2013. V. 456. P. 11–22. doi: 10.1016/j.apcata.2013.02.012

7 Adeleke A.A., Liu X., Lu X., Hildebrandt M.D. Cobalt hybrid catalysts in Fischer-Tropsch synthesis // Reviews in Chemical Engineering. 2018. doi: 10.1515/revce-2018–0012

8 Valero-Romero M.J., Sartipi S., Sun X., Rodriguez-Mirasol J. et al. Carbon/H-ZSM-5 composites as supports for bifunctional Fischer-Tropsch synthesis catalysts // Catal. Sci. Technol. 2016. V. 6. P. 2633–2646. doi: 10.1039/C5CY01942G

9 Yao M., Yao N., Liu B., Li S. et al. Effect of SiO_2/Al_2O_3 ratio on the activities of CoRu/ZSM-5 Fischer-Tropsch synthesis catalysts // Catal. Sci. Technol. 2015. V. 5. P. 2821–2828. doi: 10.1039/C5CY00017C

10 Nakanishia M., Uddina A., Katoa Y., Nishina Y. et al. Effects of preparation method on the properties of cobalt supported-zeolite catalysts for Fischer-Tropsch synthesis // Catal. Sci. Technol. 2015. V. 5. P. 1847–1853. doi: 10.1016/j.cattod.2017.01.017

11 Kang J., Wang X., Peng X., Yang Y. et al. Mesoporous Zeolite Y-Supported Co Nanoparticles as Efficient Fischer-Tropsch Catalysts for Selective Synthesis of Diesel Fuel // Ind. Eng. Chem. Res. 2016. V. 55. № 51. P. 13008–13019. doi: 10.1021/acs.iecr.6b03810

12 Nakanishi M., Uddina Md. A., Kato Y., Nishina Y. et al. Effects of preparation method on the properties of cobalt supported *β*-zeolite catalysts for Fischer-Tropsch synthesis // Catalysis Today. 2017. V. 291. P. 124–132. doi. 10.1016/j.cattod.2017.01.017.

13 Kruse N., Machoke A.G., Schwieger W., Gottel R. Nanostructured Encapsulated Catalysts for Combination of Fischer-Tropsch Synthesis and Hydroprocessing // ChemCatChem. 2015. V. 7. P. 1018–1022. doi: 10.1002/cctc.201403004

14 Savost'yanov A.P., Yakovenko R.E., Sulima S.I., Bakun V.G. et al. The impact of Al_2O_3 promoter on an efficiency of C_5+ hydrocarbonsformation over Co/SiO_2 catalysts via Fischer-Tropsch synthesis // Catalysis Today. 2017. V. 279. P. 107–114. doi: 10.1016/j.cattod.2016.02.037

15 Нарочный ГБ., Савостьянов А.П., Яковенко Р.Е., Бакун В.Г Опыт реализации технологии кобальтового катализатора синтеза углеводородов из CO и H_2 // Катализ в промышленности. 2016. № 1. С. 37–42. doi: 10.18412/1816–0387–2016–1–37–42

16 Шавалеев Д.А., Травкина О.С., Алехина И.Е., Эрштейн А.С. и др. Синтез и исследование физико-химических свойств каталитической системы на основе цеолита ZSM-5 // Вестник Башкирского университета. 2015. Т. 20. № 1. С. 58–65.

17 PDF-2. The powder diffraction file TM. International Center for Diffraction Data (ICDD), PDF-2 Release 2012. URL: www.icdd.com.

18 Collection of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolites; Ed. Treacy M.M.J., Higgins J.B. Elsevier, 2001. 586 p.

19 Wilson S.J. The Dehydration of Boehmite γ-AIOOH, γ-Al_2O_3 // Journal of Solid State Chemistry. 1979. V. 30. P. 241–255. doi: 10.1016/0022–4596(79)90106–3

20 Young R.A. The Rietveld Method. Oxford University Press, 1995. 308 p.

21 Zhu T., Flytzani-Stephanopoulos M. Catalytic partial oxidation of methane to synthesis gas over $Ni-CeO_2$ // Applied Catalysis A: General. 2001. V. 208. P. 403–417. doi: 10.1016/S0926–860X(00)00728–6

22 Al-Sayari S.A. Recent Developments in the Partial Oxidation of Methane to Syngas // The Open Catalysis Journal. 2013. V. 6. P. 17–28. doi: 10.2174/1876214X20130729001

23 Zhu C., Bollas G.M. Gasoline Selective Fischer-Tropsch Synthesis in Structured Bifunctional Catalysts // Applied Catalysis B: Environmental. 2018. V. 235. P. 92–102. doi: 10.1016/j.apcatb.2018.04.063

24 Khodakov A.Y., Chu W., Fongarland P. Advances in the Development of Novel Cobalt Fischer–Tropsch Catalysts for Synthesis of Long-Chain Hydrocarbons and Clean Fuels // Chem. Rev. 2007. V. 107. P. 1692–1744. doi: 10.1021/cr050972v

25 Zhou W., Chen J., Fang K., Sun Y.H. The deactivation of Co/SiO_2 catalyst for Fischer–Tropsch synthesis at different ratios of H_2 to CO // Fuel Processing Technology. 2006. V. 87. P. 609–616. doi: 10.1016/j.fuproc.2006.01.008

26 Kibby C., Jothimurugesan K., Das T., Lacheen H.S. et al. Chevron's gas conversion catalysis-hybrid catalysts for wax-free Fischer–Tropsch synthesis // Catalysis Today. 2013 V. 215. P.131–141. doi: 10.1016/j.cattod.2013.03.009

27 Нурмухаметова Э.Р., Ахметов А.Ф., Рахматуллин А.Р. Исследование бензина каталитического крекинга // Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. 2014. № 2. С. 181–193.

REFERENCES

1 King D.L., Klerk A. Overview of Feed-to-Liquid (XTL) Conversion. ACS Symposium Series. 2011. Vol. 1084. Pp. 1–24. doi: 10.1021/bk-2011–1084.ch001

2 Krylova A.Yu., Kulikova M.V., Lapidus A.L. Fischer-Tropsch synthesis catalysts for the processes of obtaining liquid fuels from various raw materials. *Himiya tverdogo topliva* [Solid fuel chemistry]. 2014. no 4. pp. 18–21. doi: 10.7868/S0023117714040070 (in Russian).

3 Mordkovich V., Sineva L., Kulchakovskaya E., Asalieva E. Four Generations of Technology for Production of Synthetic Liquid Fuel Bbased on Fischer-Tropsch Synthesis. *Kataliz v promyshlennosti* [Catalysis in industry]. 2015. no 15(5). pp. 23–45. doi: 10.18412/1816–0387–2015–5–23–45 (in Russian).

4 Carvalho A., Marinova M., Batalha N., Marcilio N.R. et al. Design of nanocomposites with cobalt encapsulated in the zeolite micropores for selective synthesis of isoparaffins in Fischer-Tropsch reaction. Catalysis Science & Technology. vol. 7. pp. 5019–5027. doi: 10.1039/c7CY01945A

5 Kim J., Lee S., Cho K., Na K. et al. Mesoporous MFI Zeolite Nanosponge Supporting Cobalt Nanoparticles as a Fischer–Tropsch Catalyst with High Yield of Branched Hydrocarbons in the Gasoline Range. ACS Catalysis. 2014. vol. 4. pp. 3919–3927. doi: 10.1021/cs500784v

6 Sartipi S., Dijk J.E., Gascon J., Kapteijn F. Toward bifunctional catalysts for the direct conversion of syngas to gasoline range hydrocarbons: H-ZSM-5 coated Co versus H-ZSM-5 supported Co. Applied Catalysis A: General. 2013. vol. 456. pp. 11–22. doi: 10.1016/j.apcata.2013.02.012

7 Adeleke A.A., Liu X., Lu X., Hildebrandt M.D. Cobalt hybrid catalysts in Fischer-Tropsch synthesis. Reviews in Chemical Engineering. 2018. doi: 10.1515/revce-2018–0012

8 Valero-Romero M.J., Sartipi S., Sun X., Rodriguez-Mirasol J. et al. Carbon/H-ZSM-5 composites as supports for bifunctional Fischer-Tropsch synthesis catalysts. Catal. Sci. Technol. 2016. vol. 6. pp. 2633–2646. doi: 10.1039/C5CY01942G

9 Yao M., Yao N., Liu B., Li S. et al. Effect of SiO_2/Al_2O_3 ratio on the activities of CoRu/ZSM-5 Fischer-Tropsch synthesis catalysts. Catal. Sci. Technol. 2015. vol. 5. pp. 2821–2828. doi: 10.1039/C5CY00017C

10 Nakanishia M., Uddina A., Katoa Y., Nishina Y. et al. Effects of preparation method on the properties of cobalt supported-zeolite catalysts for Fischer-Tropsch synthesis. Catal. Sci. Technol. 2015. vol. 5. pp. 1847–1853. doi: 10.1016/j.cattod.2017.01.017

11 Kang J., Wang X., Peng X., Yang Y. et al. Mesoporous Zeolite Y-Supported Co Nanoparticles as Efficient Fischer-Tropsch Catalysts for Selective Synthesis of Diesel Fuel. Ind. Eng. Chem. Res. 2016. vol. 1084. pp. 1–24. doi: 10.1021/acs.iecr.6b03810

12 Nakanishi M., Uddina Md. A., Kato Y., Nishina Y. et al. Effect of preparation methods on hierarchical zeolites for cobalt based Fischer-Tropsch synthesis. Catalysis Today. 2017. doi. 10.1016/j.cattod.2017.01.017.

13 Kruse N., Machoke A.G., Schwieger W., Gottel R. Nanostructured Encapsulated Catalysts for Combination of Fischer-Tropsch Synthesis and Hydroprocessing. ChemCatChem. 2015. vol. 7. pp. 1018–1022. doi: 10.1002/cctc.201403004

14 Savost'yanov A.P., Yakovenko R.E., Sulima S.I., Bakun V.G., Narochnyi G.B., Chernyshev V.M., Mitchenko S.A. The impact of Al_2O_3 promoter on an efficiency of C_5+ hydrocarbonsformation over Co/SiO_2 catalysts via Fischer-Tropsch synthesis. Catalysis Today. 2017. vol. 279. pp. 107–114. doi: 10.1016/j.cattod.2016.02.037

15 Narochny G.B., Yakovenko R.E., Savostianov A.P., Bakun V.G. Practice of Preparation of a Cobalt Catalyst for Hydrocarbon Synthesis from CO and H_2. *Kataliz v promyshlennosti* [Catalysis in industry]. 2016. no. 16 (1). pp. 37–42. doi: 10.18412/1816–0387–2016–1–37–42 (in Russian).

16 Shavaleev D.A., Travkina O.S., Alekhina I.E., Ershtein A.S., Basimova A., Pavlov M.L. Synthesis and study of the physicochemical properties of the catalytic system based on zeolite ZSM-5. *Vestnik Bashkirskogo universiteta* [Bulletin of the Bashkir University]. 2015. vol. 20. no. 1. pp. 58–65. (in Russian)

17 PDF-2. The powder diffraction file TM. International Center for Diffraction Data (ICDD), PDF-2 Release 2012. Available at: www.icdd.com.

18 Treacy M.M.J., Higgins J.B. Collection of Simulated XRD Powder Patternsfor Zeolites; Elsevier, 2001. 586 p.

19 Wilson S.J. The Dehydration of Boehmite γ-AlOOH, γ-Al_2O_3 // Journal of Solid State Chemistry. 1979. V. 30. P. 241–255. DOI: 10.1016/0022–4596(79)90106–3

20 Collection of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolites; Ed. Treacy M.M.J., Higgins J.B. Elsevier, 2001. 586 p.

21 Zhu T., Flytzani-Stephanopoulos M. Catalytic partial oxidation of methane to synthesis gas over Ni-CeO_2. Applied Catalysis A: General. 2001. vol. 208. pp. 403–417. doi: 10.1016/S0926–860X(00)00728–6

22 Al-Sayari S.A. Recent Developments in the Partial Oxidation of Methane to Syngas. The Open Catalysis Journal. 2013. vol. 6. pp. 17–28. doi: 10.2174/1876214X20130729001

23 Zhu C., Bollas G.M. Gasoline Selective Fischer-Tropsch Synthesis in Structured Bifunctional Catalysts. Applied Catalysis B: Environmental. 2018. vol. 235. pp. 92–102. doi: 10.1016/j.apcatb.2018.04.063

24 Khodakov A.Y., Chu W, Fongarland P. Advances in the Development of Novel Cobalt Fischer–Tropsch Catalysts for Synthesis of Long-Chain Hydrocarbons and Clean Fuels. Chem. Rev. 2007. vol. 107. pp. 1692–1744. doi: 10.1021/cr050972v

25 Zhou W., Chen J., Fang K., Sun Y.H. The deactivation of Co/SiO_2 catalyst for Fischer–Tropsch synthesis at different ratios of H_2 to CO. Fuel Processing Technology. 2006. vol. 87. pp. 609–616. doi: 10.1016/j.fuproc.2006.01.008

26 Kibby C., Jothimurugesan K., Das T., Lacheen H.S. et al. Chevron's gas conversion catalysis-hybrid catalysts for wax-free Fischer–Tropsch synthesis. Catalysis Today. 2013. vol. 215. pp. 131–141. doi: 10.1016/j.cattod.2013.03.009

27 Nurmukhametova E.R, Akhmetov A.F., Rakhmatullin A.R. Catalytic cracking gasoline research. *Neftegazovoe delo: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Oil and gas business: electronic scientific journal]. 2014. no. 2. pp. 181–193. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Роман Е. Яковенко к.т.н., доцент, кафедра химических технологий, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, ул. Просвещения, 132, г Новочеркасск, 346428, Россия, jakovenko39@gmail.com

Иван Н. Зубков аспирант, кафедра химических технологий, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, ул. Просвещения, 132, г Новочеркасск, 346428, Россия, 71650021.qwe@mail.ru

Светлана В. Некроенко лаборант-исследователь, НИИ «Нанотехнологии и новые материалы», Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, ул. Просвещения, 132, г Новочеркасск, 346428, Россия, svetlananekroenko@yandex.ru

Ольга П. Папета студент, кафедра химических технологий, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, ул. Просвещения, 132, г Новочеркасск, 346428, Россия, papeta.olga@bk.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Роман Е. Яковенко Общее руководство работами, анализ литературных данных о применении полифункциональных каталитических систем для управляемого синтеза жидких углеводородов из синтез-газа, обоснование и выбор направлений методов исследования, обобщение и подготовка к публикации результатов

Иван Н. Зубков Синтез и исследование физико-химических и каталитических свойств полифункциональных катализаторов.

Светлана В. Некроенко Определение состава полученных продуктов методом газовой хромато-масс-спектрометрии. Расчет молекулярно-массового распределения продуктов синтеза

Ольга П. Папета Проведение экспериментальных исследований по определению активности и стабильности работы катализаторов.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 09.10.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 16.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Roman E. Yakovenko Cand. Sci. (Engin.), associate professor, department of chemical technology, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Prosveshceniya St. 132, Rostov region, Novocherkassk, 346428 Russia, jakovenko39@gmail.com

Ivan N. Zubkov graduate student, department of chemical technology, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Prosveshceniya St. 132, Rostov region, Novocherkassk, 346428 Russia, 71650021.qwe@mail.ru

Svetlana V. Nekroenko research assistant, Research Institute "Nanotechnology and new materials", Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Prosveshceniya St. 132, Rostov region, Novocherkassk, 346428 Russia, svetlananekroenko@yandex.ru

Olga P. Papeta student, department of chemical technology, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Prosveshceniya St. 132, Rostov region, Novocherkassk, 346428 Russia, papeta.olga@bk.ru

CONTRIBUTION

Roman E. Yakovenko General management of the work, analysis of literature data on the use of multifunctional catalytic systems for the controlled synthesis of liquid hydrocarbons from synthesis gas, the rationale and choice of areas of research methods, synthesis and preparation for publication of the results.

Ivan N. Zubkov Synthesis and research of physicochemical and catalytic properties of polyfunctional catalysts.

Svetlana V. Nekroenko Determination of the composition of the products obtained by gas chromatography-mass spectrometry. The calculation of the molecular mass distribution of synthesis products.

Olga P. Papeta Conducting experimental research to determine the activity and stability of the catalysts.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.9.2018

ACCEPTED 11.16.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 64

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-312-315

Исследования преципитирования в ходе процесса разложения фосфоросодержащих соединений

М Б. Ганбаров [1] mirsalam.qanbarov@mail.ru
М Ш. Атаев [2] matlab.atayev@gmail.com
К А. Газвини [2] gazvini@bk.ru

[1] Министерство экологии и природных ресурсов

[2] Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности, г. Баку, Азербайджанская Республика

Аннотация. В работе исследована кинетика процесса использование фосфоросодержащие минеральные соединения их разложением, которые являются актуальными проблемами. В начале работы осведомлено, что процесс происходит в двух стадиях. Эти стадии процессы отличаются друг друга в основном по скорости осуществления процесса, так как скорость первой стадии гораздо больше, чем второго. Этот факт является причиной глубокого исследования кинетики данного процесса. Кроме того, изучение таких процессов связаны нескольких производственных проблемами. В работе анализированы эти вопросы, так же представлены сведения по методике проведенных опытов, режимные параметры, соотношение компонентов, концентрация компонентов, требуемое время для осуществления процесса. Так же определена зависимость степени преципитирования при различных массовых соотношениях компонентов от времени осуществления процесса. В работе показаны виды существования преципитата, как монетит и брушит. На основе полученных данных графически представлены растворимость различных фаз и скорость превращение, так же диаграмма осаждения основного полученного продукта. В работе изучен влияние массового соотношения CaO/P2O5 и время осуществления процесса на степень преципитирование. Выявлены, что при температуре 650С массовое соотношение основных компонентов должно приравняться единице, при этом затраченное время на процесс нейтрализации практической роли не играет. Так как ее увеличение и уменьшение практически не влияет на показатели процесса. Результаты показали, что при равенстве соотношений компонентов CaO/ P2O5 =1 в течение четырех часов степень преципитирование достигается до 90,66 %. А в течение одного часа этот показатель достигается 78,2 %. Значит в остальном трех часов этот показатель всего увеличивается на 12 %. Используя эти полученные данные имеется возможность определения оптимальные технологические условия для данного процесса. Показаны, что имеются возможности достижения интенсификации процесса, увеличение степень использование сырья и с этим получения экологически безвредного продукта с приведением в оптимальную состоянию режимных параметров и компонентных соотношений.

Ключевые слова: кинетика, минеральные соединения, суперфосфат, серная кислота, фосфорной кислоты

Studies of precipitation during the decomposition process of phosphorus-containing compounds

M B. Ganbarov [1] mirsalam.qanbarov@mail.ru
M Sh. Ataev [2] matlab.atayev@gmail.com
K A. Gazvini [2] gazvini@bk.ru

[1] Ministry of ecology and natural resources, Baku, Azerbaijan Republic

[2] Azerbaijan state University of oil And Industry, Baku, Azerbaijan Republic

Abstract. The kinetics of the process of using phosphorus-containing mineral compounds by their decomposition, which are actual problems, has been studied. At beginning of the it have been notified that the process takes place in two stages. These stages of the process are differed from each another mainly by rate of process realization, because a rate of the first stage is much more that a rate of the second stage. This fact is a reason of the deep research of kinetic of given process. Apart from that a detailed study of these processes connect with some problems of enter prices. All these question are analizied in the work, also the information by methodical carry out of experiments. Regime parameters correlation of components, concentrations of components, a time requite for realization of process are presented. The dependence of degree by different mass correlation of components from the time realization of process are also shown. In the work the types existence of precipitate, monitite brush it are shown. On base of received date a dissolubility of the base received product are graphically presented. In the work an influence of mass correlation of CaO⁄P2O5 and time of process realization on precipitation is studied. It have been determined that by 650C temperature a mass correlation of the base components must be equal to one, by that a time being used on neutralization process don't play the practical role, because its increase and decrease don't influence practically on process indices. The results shown that by equality of components CO⁄P2O5=1 correlation during four hours the precipitation degree makes up to 90,66 % and during 1 hour this index is 78,2 % for duringthe remaining three during this index is increased on 12 %. By using of these received data these is a possibility determination of the optimum technological conditions for given process. it is shown that there are opportunities to achieve processivization, to increase the use of raw materials and to obtain an environmentally friendly product with the introduction of regime parameters and component ratios in the absolute state.

Keywords: kinetics, mineral compounds, superphosphate, sulfuric acid, phosphoric acid

Для цитирования

Ганбаров М.Б., Атаев М.Ш., Газвини К.А. Исследования преципитирования в ходе процесса разложения фосфоросодержащих соединений // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 312–315. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-312-315

For citation

Ganbarov M.B., Ataev M.Sh., Gazvini K.A. Studies of precipitation during the decomposition process of phosphorus-containing compounds. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 312–315. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-312-315

Введение

Исследования процесса разложения фосфоросодержащих минеральных соединений серной кислотой для различных целей показали, что процесс разложения происходит в основном в две стадии. Вторая стадия процесса имеет меньшую скорость по сравнению с первой [1, 2].

Данный вопрос связан с получением минеральных и органоминеральных удобрений. Необходимо глубоко исследовать существующие процессы для решения нижеследующих актуальных вопросов: развитие соответствующего производства, интенсификация применяемых процессов, максимальное использование сырья, ликвидация вредных воздействий на окружающую среду при использовании полученных продуктов.

С целью выяснения указанных вопросов нами проведены исследования. В исследованиях использованы апатитовый концентрат в виде фосфоросодержащего минерального соединения и серная кислота. Опыты выполнены по известной методике [3]. После завершения процесса около 30–50% от общего объема полученной пульпы суперфосфата подается в реактор-нейтрализатор. В реакторе-нейтрализаторе при 65 °С на пульпу суперфосфата добавляется определенное количество суспензии ракушечника и проводится нейтрализация фосфорной кислоты в соотношении $CaO/P_2O_5 = 1{,}0$ в течение 60 мин. Остальная масса суперфосфатной пульпы помещается в камере термостата и выдерживается при температуре 150–160 °С. Полученная смесь из реактора-нейтрализатора добавляется к основной массе суперфосфатной пульпы в камеру и выдерживается 1,5 ч. Проведен анализ полученного продукта. Изучен процесс преципитирования в течение 240 мин в различных условиях. Степень преципитирования определялась отношением количества растворенной формы P_2O_5 в цитрате на общее количество P_2O_5.

Кроме этого, в условиях различных массовых соотношений CaO/P_2O_5 при температуре 65 °С реакционной смеси изучена зависимость степени преципитирования от продолжительности процесса.

Известно, что преципитат может существовать в виде монетита $CaHPO_4$ и брушита $CaHPO_4{\cdot}2H_2O$. Они содержат соответственно 52,17 и 41,25%. Брушит осаждается из фосфорнокислых растворов при 40–50 °С как метастабильная фаза, выше 50 °С выделяется безводная соль – монетит. На основе полученных результатов на рисунке 1 показана растворимость метастабильной фазы $CaHPO_4{\cdot}2H_2O$ и стабильной фазы $CaHPO_4$ при 65 °С, на рисунке 2 – скорость полиморфного превращения $CaHPO_4{\cdot}2H_2O \rightarrow CaHPO_4$.

Результаты анализа процесса преципитирования, полученные на основе опытных данных, представлены в таблице 1.

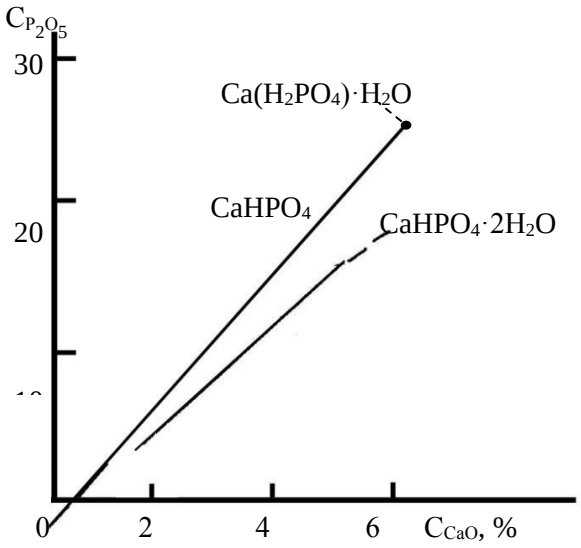


Рисунок 1. Растворимость метастабильной фазы $CaHPO_4{\cdot}2H_2O$ и стабильной фазы $CaHPO_4$ в системе $CaO–P_2O_5–H_2O$ при 65 °С

Figure 1. The solubility of the metastable phase $CaHPO_4{\cdot}2H_2O$ and $CaHPO_4$ stable phase in the system $CaO–P_2O_5–H_2O$ at 65 °C

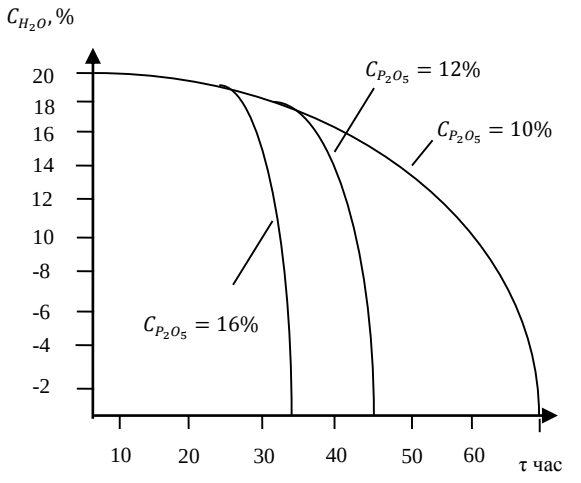


Рисунок 2. Изменение фазового превращения $CaHPO_4{\cdot}2H_2O$ в безводную соль во времени при 65 °С при различных концентрациях P_2O_5 в жидкой фазе, равновесной с двуводной солью

Figure 2. The change of phase transformation $CaHPO_4{\cdot}2H_2O$ in anhydrous salt in time at 65 °C with various concentrations of P_2O_5 in the liquid phase in equilibrium with dvuvodny salt

Таблица 1.

Влияние массового соотношения CaO/P_2O_5 и продолжительности процесса на степень преципитирования

Table 1.

Influence of mass ratio CaO/P_2O_5 and duration of the process on the degree of precipitation

Массовое соотношение Mass. correlation CaO/P_2O_5	Степень преципитирования в течение процесса (мин) нейтрализации Precipitation degree during of process neutralization (min)					
	30	60	90	120	180	240
0,9	54,70	70,84	73,85	75,20	80,55	86,46
1,0	58,42	77,60	80,46	82,05	87,60	90,66
1,1	60,16	78,20	81,15	80,80	87,00	90,00
1,2	60,22	76,36	82,00	80,76	87,30	90,88

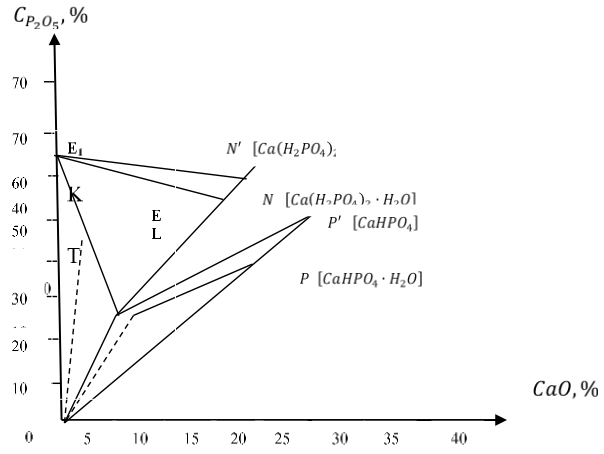


Рисунок 3. Диаграмма процесса осаждения дикальцийфосфата из фосфорной кислоты: OE – стабильная и ML – метастабильная ветви изотермы системы $CaO–P_2O_5–H_2O$ при 65 °C; KT – ветвь растворимости $CaHPO_4$ в системе $CaO–P_2O_5–H_2O$ при соответствующей температуре

Figure 3. Diagram of the deposition of dicalcium phosphate from phosphoric acid: OE-stable and ML-metastable branches of $Cao–P_2O_5–H_2O$ system isotherm at 65 °C; KT – branches solubility in $CaO–P_2O_5–H_2O$ system at the appropriate temperature

Как видно из таблицы 1, независимо от продолжительности процесса нейтрализации для проведения процесса преципитирования при температуре 65 °C массовое соотношение должно быть $CaO/P_2O_5 = 1,0$, т.к. его дальнейшее увеличение практически не влияет на процесс, даже в некоторых случаях уменьшается степень преципитирования.

В условиях соотношений $CaO/P_2O_5 = 1,0$ в течение 240 мин процесса степень преципитирования равняется 90,66%. А при 60 минутах степень преципитирования равняется 78,20%, затем в течение 180 мин степень преципитирования увеличивается всего 12%.

На основе опытных данных можно определить оптимальные технологические условия для получения максимальной степени преципитирования. К этим технологическим условиям относятся:

– продолжительность процесса 60 мин;

– температура 65 °C;

– $CaO/P_2O_5 = 1,0$;

– в системе концентрация P_2O_5 равняется 10,5%.

В основе процесса преципитирования дикальцийфосфата лежит диаграмма состояния системы $CaO–P_2O_5–H_2O$. На основе полученных данных построена диаграмма состояния системы $CaO–P_2O_5–H_2O$ (рисунок 3).

Заключение

На основе вышеуказанных данных определено, что на существующей короткой технологической схеме с помощью регулирования соотношения моно- и дикальцийфосфата оптимальными технологическими условиями получения суперфосфата являются нижеследующие: норма серной кислоты на 100 масс. апатита 70 масс. концентрации серной кислоты 60%; количество пульпы суперфосфата для использования преципитирования 30–50% от общей массы; концентрация суспензии ракушечника с содержанием 45% CaO. При этом не требуется складское дозревание камерного продукта для использования или грануляции.

ЛИТЕРАТУРА

1 Ибрагимова С.М., Алосманов М.С. Исследование процесса экстрагированной фосфорной кислоты с использованием нового сырья // Азербайджанский химический журнал. 2014. № 4. С. 90–92.

2 Гасанов А.А., Атаев М.Ш., Газвини К.А. Исследование кинетических закономерностей в процессе использования микроэлементо содержащей вулканитовой золы при производстве суперфосфата // Наука, техника и образование. 2016. № 6 (24). С. 24–26.

3 Газвини К.А. Опытное исследование кинетики процесса разложения фосфата // Эко Энегетика научно-технический журнал. 2017. № 3. С. 54–58.

4 Atkins P.W., Overton T.L., Rourke J.P., Weller M.T. et al. Shriver and Atkins Inorganic Chemistry, Fifth Edition. New York: W.H. Freeman and Company. 2010. 824 p.

5 Schrödter K., Bettermann G., Staffel T., Wahl F. et al. Phosphoric Acid and Phosphates // in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Weinheim: Wiley-VCH, 2008. doi: 10.1002/14356007.a19_465.pub3

6 Childers D.L., Corman J., Edwards M., Elser J.J. Sustainability Challenges of Phosphorus and Food: Solutions from Closing the Human Phosphorus Cycle // Bioscience. 2011. № 61. P. 117–124.

7 Mayer B.K., Baker L.A., Boyer T.H., Drechsel P. et al. Total value of phosphorus recovery // Environ. Sci. Technol. 2016. V. 50. P. 6606–6620.

8 Peng L., Dai H., Wu Y., Peng Y. et al. A comprehensive review of the available media and approaches for phosphorus recovery from wastewater // Water Air Soil Pollution. 2018. V. 229. P. 115. doi: 10.1007/s11270-018-3706-4

REFERENCES

1 Ibragimova S.M., Alosmanov M.S. Study of the process of extracted phosphoric acid using new raw materials. *Azerbajdzhanskij himicheskij zhurnal* [Azerbaijan Chemical Journal]. 2014. no. 4. pp. 90–92. (in Russian).

2 Gasanov A.A., Ataev M.SH., Gazvini K.A. Investigation of the kinetic patterns in the use of microelement containing volcanic ash in the production of superphosphate. *Nauka, tekhnika i obrazovanie* [Science, technology and education]. 2016. no. 6 (24). pp. 24–26. (in Russian).

3 Gazvini K.A. Experimental study of the phosphate decomposition kinetics. *Ehko ehnegetika nauchno-tekhnicheskij zhurnal* [Eco Energy, Scientific and Technical Journal]. 2017. no. 3. pp. 54–58. (in Russian).

4 Atkins P.W., Overton T.L., Rourke J.P., Weller M.T. et al. Shriver and Atkins Inorganic Chemistry, Fifth Edition. New York, W.H. Freeman and Company. 2010. 824 p.

5 Schrödter K., Bettermann G., Staffel T., Wahl F. et al. Phosphoric Acid and Phosphates. In Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Weinheim, Wiley-VCH, 2008. doi: 10.1002/14356007.a19_465.pub3

6 Childers D.L., Corman J., Edwards M., Elser J.J. Sustainability Challenges of Phosphorus and Food: Solutions from Closing the Human Phosphorus Cycle. Bioscience. 2011. no. 61. pp. 117–124.

7 Mayer B.K., Baker L.A., Boyer T.H., Drechsel P. et al. Total value of phosphorus recovery. Environ. Sci. Technol. 2016. vol. 50. pp. 6606–6620.

8 Peng L., Dai H., Wu Y., Peng Y. et al. A comprehensive review of the available media and approaches for phosphorus recovery from wastewater. Water Air Soil Pollution. 2018. vol. 229. pp. 115. doi: 10.1007/s11270-018-3706-4

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

М Б. Ганбаров старший консультант, Министерство экологии и природных ресурсов, г. Баку, Азербайджанская Республика, mirsalam.qanbarov@mail.ru

М Ш. Атаев к.т.н., доцент, кафедра нефтехимической технологии и промышленной экологии, Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности , г. Баку, Азербайджанская Республика, matlab.atayev@gmail.com

К А. Газвини докторант, кафедра нефтехимической технологии и промышленной экологии, Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности, г. Баку, Азербайджанская Республика, gazvini@bk.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 16.05.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 08.08.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

M B. Ganbarov senior consultant, Ministry of ecology and natural resources, Baku, Azerbaijan Republic, mirsalam.qanbarov@mail.ru

M Sh. Ataev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, petrochemical technology and industrial ecology department, Azerbaijan state University of oil And Industry, Baku, Azerbaijan Republic, matlab.atayev@gmail.com

K A. Gazvini doctoral student, petrochemical technology and industrial ecology, Azerbaijan state University of oil And Industry, Baku, Azerbaijan Republic, gazvini@bk.ru

CONTRIBUTION

All authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 5.16.2018

ACCEPTED 8.8.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 480

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-316-321

Подбор катализаторов, обеспечивающих стабильность работы и высокую скорость окисления водорода и метана в реакторах Р 2 отделений тонкой очистки гелия Оренбургского гелиевого завода

Татьяна А. Курякова [1] tany_kur1975@mail.ru
Евгений А. Федоров [2] tany_kur1975@mail.ru
Лариса В. Межуева [3] larisam57@mail.ru
Артем В. Быков [3] artem19782@yandex.ru

[1] РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина филиал в г. Оренбурге, ул. Юных Ленинцев, 20, г. Оренбург, 460047, Россия
[2] ООО «Газпром добыча Оренбург», ул. Чкалова, 1/2, г. Оренбург, 460058, Россия
[3] Оренбургский государственный университет, пр. Победы, 13, г. Оренбург, 460018, Россия

Аннотация. В данной статье представлен обзор перспективных катализаторов, выполнен подбор наиболее эффективного, рассчитан экономический эффект внедрения нового катализатора. Произведен подбор катализаторов, обеспечивающих стабильность работы и высокую скорость окисления водорода и метана, протекающей в реакторе Р-2 отделения тонкой очистки гелия установки получения гелия из гелиевого концентрата. Для обеспечения технологического процесса в производстве продукции на предприятиях химической, газоперерабатывающей и нефтеперерабатывающей промышленности применяют катализаторы разной модификации и типов как отечественного, так и импортного производства. Для стабильной работы и высокой скорости окисления водорода и метана, протекающей в реакторе Р-2 отделения тонкой очистки гелия из гелиевого концентрата установки-22 Оренбургского гелиевого завода применяют алюмоплатиновый катализатор АП-56. Участвующий в процессах окисления катализатор АП-56 в связи с усовершенствованием технологического процесса не удовлетворяет нормам, установленным в технологическом регламенте, в том числе происходит увеличение концентраций водорода, а это в свою очередь ухудшает качество бензиновых фракций, кроме того катализатор АП-56 промотирован хлором, способствующим развитию коррозии на теплообменном оборудовании, расположенном после реактора. Вышеперечисленные обстоятельства заставили производителей сократить выпуск алюмоплатинового катализатора АП-56. Рассмотрена наиболее производительная среди блоков тонкой очистки установка, которая включает в себя 3 аналогичных отделения производительностью до 400 нм^3/ч по сырью. Для подтверждения эффективности работы подобранных катализаторов на существующем оборудовании и для внедрения, были произведены технологические расчеты блока каталитической очистки, и определены основные показатели процесса.

Ключевые слова: катализаторы, реактор, окисление, водород, метан, конденсация, давление

The selection of catalysts that provide stability and high oxidation rate of hydrogen and methane in the reactors R 2 compartments of helium Orenburg helium plant

Tatyana A. Kuryakova [1] tany_kur1975@mail.ru
Evgeniy A. Fedorov [2] tany_kur1975@mail.ru
Larisa V. Meghueva [3] larisam57@mail.ru
Artem V. Bykov [3] artem19782@yandex.ru

[1] RSU of oil and gas (NSU) branch in Orenburg, Young Leninists str., 20, Orenburg, 460047, Russia
[2] OOO "Gazprom dobycha Orenburg", Chkalova str., 1/2, Orenburg, 460058, Russia
[3] Orenburg state university, Pobedy sq., 13, Orenburg, Russia

Abstract. This article presents an overview of promising catalysts, the selection of the most effective, calculated the economic effect of the introduction of a new catalyst. The selection of catalysts providing stability of operation and high rate of oxidation of hydrogen and methane flowing in the reactor P 2 of the helium fine purification unit of helium production from helium concentrate was made. To ensure the technological process in the production of chemical, gas processing and oil refining enterprises, catalysts of different modifications and types of both domestic and imported production are used. For stable operation and high oxidation rate of hydrogen and methane flowing in the reactor P-2 of the helium fine purification unit-22 of the Orenburg helium plant, the AP-56 aluminum-platinum catalyst is used. The catalyst AP-56 participating in oxidation processes in connection with the improvement of the technological process does not meet the standards established in the technological regulations, including an increase in hydrogen concentrations, and this in turn worsens the quality of gasoline fractions, in addition, the catalyst AP-56 is promoted by chlorine, which contributes to the development of corrosion on heat exchange equipment located after the reactor. The above circumstances forced manufacturers to reduce the production of aluminum-platinum catalyst AP-56. The most productive among the units of fine cleaning plant, which includes 3 similar compartments with a capacity of up to 400 Nm^3/h for raw materials, is considered. To confirm of the selected catalysts on existing equipment and for implementation, the technological calculations of the catalytic purification unit were made, and the main indicators of the process were determined.

Keywords: catalysts, reactor, oxidation, hydrogen, methane, condensation, pressure

Для цитирования

Курякова Т.А., Фёдоров Е.А., Межуева Л.В., Быков А.В. Подбор катализаторов, обеспечивающих стабильность работы и высокую скорость окисления водорода и метана в реакторах Р 2 отделений тонкой очистки гелия Оренбургского гелиевого завода // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 316–321. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-316-321

For citation

Kuryakova T.A., Fedorov E.A., Mezhueva L.V., Bykov A.V. The selection of catalysts that provide stability and high oxidation rate of hydrogen and methane in the reactors R 2 compartments of helium Orenburg helium plant. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 316–321. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-316-321

Введение

Для обеспечения технологического процесса в производстве продукции на предприятиях химической, газоперерабатывающей и нефтеперерабатывающей промышленности применяют катализаторы разной модификации и типов как отечественного, так и импортного производства. Для стабильной работы и высокой скорости окисления водорода и метана в реакторе Р-2 отделения тонкой очистки гелия из гелиевого концентрата установки-22 Оренбургского гелиевого завода применяют алюмоплатиновый катализатор АП-56 (64). Участвующий в процессах окисления катализатор АП-56(64) в связи с усовершенствованием технологического процесса не удовлетворяет нормам, установленным в технологическом регламенте: происходит увеличение концентраций водорода, а это, в свою очередь, ухудшает качество бензиновых фракций. Кроме того, катализатор АП-56 (64) промотирован хлором, способствующим развитию коррозии на теплообменном оборудовании, расположенном после реактора. Вышеперечисленные обстоятельства заставили производителей сократить выпуск алюмоплатинового катализатора АП-56 (64) [2, 7, 11, 15].

Поэтому подбор наиболее эффективного катализатора, в том числе обеспечивающего стабильность работы и высокую скорость окисления водорода и метана, одна из приоритетных задач предприятия.

Материалы и методы

Рассмотрим наиболее производительную среди блоков тонкой очистки установку, которая имеет 3 аналогичных отделения производительностью до 400 нм^3/ч по сырью каждое, включающих узлы:

– рекуперативных теплообменников;

– каталитической очистки гелия среднего давления от водорода;

– осушки гелия среднего давления;

– очистки от масла и осушки гелия высокого давления;

– конденсации азота из гелия высокого давления;

– адсорберов очистки гелия высокого давления от азота и микропримесей.

В состав установки входят вспомогательные отделения, необходимые для технологического процесса: отделение гелиевых сдувок, обогревного азота, компримирования гелиевого концентрата, азота холодильного цикла и отделения вакуум-насосов.

Процесс каталитической очистки гелиевого концентрата от водорода и метана осуществляется поэтапно. Гелиевый концентрат поступает от гелиевых блоков через Е-16 в смеситель, сюда же подается воздух от АКС через рессиверы в соотношении воздух:водород 2,5:1,0, затем смесь подогревается в Т-30 до температуры 150–190 °С и направляется в реактор Р-2, где на алюмоплатиновом катализаторе осуществляются основные реакции окисления. Прореагировавшая смесь фильтруется и направляется на охлаждение, последующую сепарацию и доочистку [5, 11–13]. Данная схема представлена на рисунке 1.

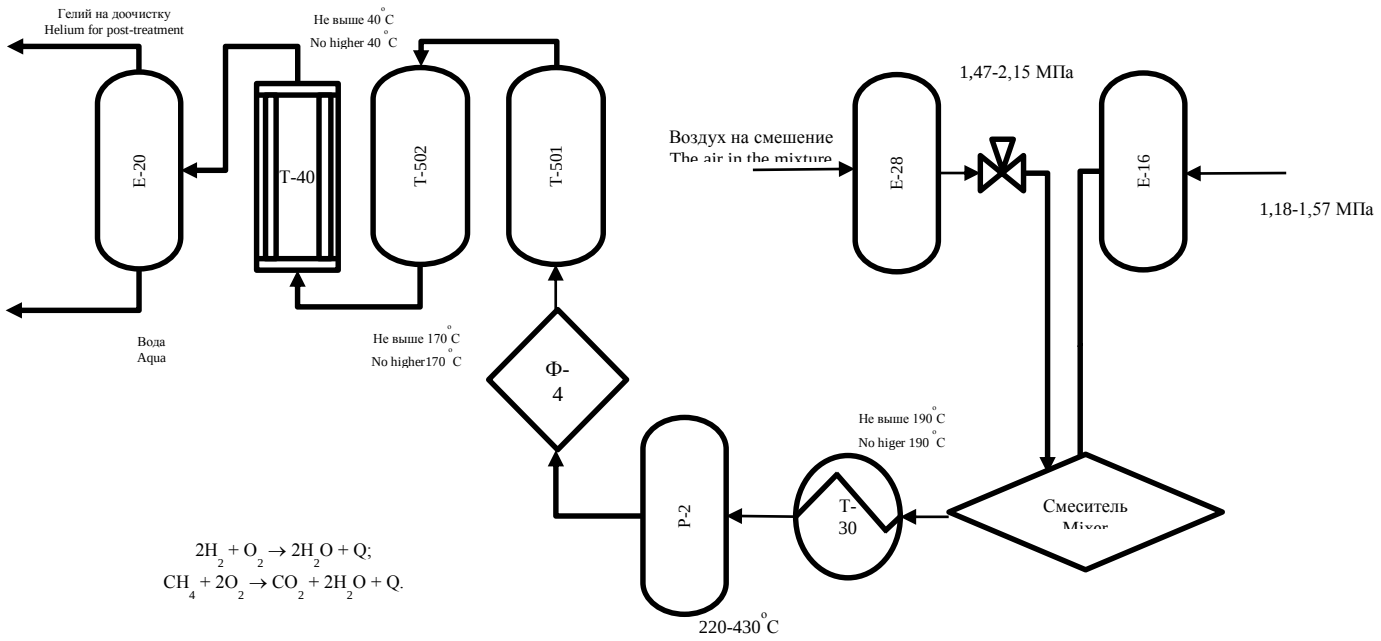


Рисунок 1. Схема очистки гелиевого концентрата от метана и водорода

Figure 1. The scheme of purification of helium concentrate from methane and hydrogen

Для определения возможности каталитического окисления водорода и метана с использованием перспективных катализаторов на отделении тонкой очистки гелия гелиевого завода, исходя из оптимальной загрузки одного отделения 380 нм^3/ч, произвели расчет материального баланса (таблица 1).

Таблица 1.

Материальный баланс

Table 1.

Material balance

Компонент Component	Приход Parish	Расход Expense
Смесь гелиевого концентрата и воздуха: Mixture of helium concentrate and air:	Количество, Di кг/ч Number, Di kg/h	Количество, кг/ч Number, kg/h
He	54,29	54,29
H_2	1,36	0,00
CH_4	2,71	0,00
$N_{2\ сырье}$	71,25	71,25
$N_{2\ воздух}$	70,80	70,80
O_2	21,71	0,00
H_2O	0,00	18,32
CO_2	0,00	7,46
Итого | Total	222,12	222,12

В реакторе осуществляется непрерывный процесс каталитического окисления водорода и метана кислородом воздуха на алюмоплатиновом катализаторе при температуре 220 ÷ 413 °С по следующей схеме:

$$2\ H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + Q,$$
$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O + Q.$$

Продуктами окисления являются углекислый газ и вода, реакция идет с выделением теплоты. За счет теплоты, выделяющейся при реакции в реакторе, температура гелиевого концентрата может повыситься в зависимости от содержания в нем водорода и составит на выходе из реактора 220 ÷ 430 °С.

Воздух, требуемый для окисления водорода и метана, подается с азотно-кислородной станции (АКС) II очереди завода.

Стехиометрическое соотношение водорода и кислорода 2:1 поддерживается путем автоматического дозирования воздуха к гелиевому концентрату.

Результаты и обсуждение

Поиск альтернативных катализаторов производился на основании литературного обзора. Рассматривались катализаторы платиновой и палладиевой группы, так как они имеют в разы большие скорости реакций по отношению к остальным и не содержат галогенов, не вызывают коррозии, поэтому оборудование прослужит дольше [1, 4, 8, 14, 16].

В результате анализа отечественных производителей были отобраны ведущие из них: ООО «НИАП-КАТАЛИЗАТОР», ООО «НПП Нефтехим» и ЗАО «Редкинский катализаторный завод». Предлагаемые катализаторы не содержат галогенов и оборудование будет служить в разы дольше.

Поиск аналогов осложнялся тем, что процесс получения и очистки гелия на гелиевом заводе является единственным в России и непосредственно для него катализаторы не разрабатывались, поэтому подбор проводился по существующим продуктам различного назначения (таблица 2).

Таблица 2.

Характеристика катализаторов

Table 2.

Catalyst characteristics

Катализаторы Catalysts	Pt, Pd % масс mass	Краткое описание Brief description	Назначение Appointment
АП-56 применямый АР-56 applicable	0,55 Pt	Алюмоплатиновый катализатор Al-catalyst	Применяется в процессе риформинга негидроочищенных бензиновых фракций It is used in the process of reforming non-hydrotreated gasoline fractions
Тип 1 Type 1	0,55 Pd	Палладиевый катализатор Palladium catalyst	Предназначены для селективного гидрирования ацетиленовых и диеновых компонентов в жидких и газообразных фракциях пиролиза нефтепродуктов в промышленных установках и успешно применяются для очистки других газовых выбросов Designed for selective hydrogenation of acetylene and diene components in liquid and gaseous pyrolysis fractions of petroleum products in industrial plants and successfully used for cleaning other gas emissions
Тип 2 Type 2	0,6 Pt	Алюмоплатиновый катализатор серии RC-12 Alumina catalyst series RC-12	Применяется для установок риформинга с движущимся слоем катализатора It is used for reforming units with a moving catalyst bed
Тип 3 АР 56 applicable	1,1 Pd	Палладиевый катализатор серии РК-201 Palladium catalyst PK 201 series	Предназначен для очистки технологических газов (водорода, аргона, азота) и инертных защитных атмосфер от кислорода, для кондиционирования технологических газов в металлургической и химической промышленности | It is intended for purification of process gases (hydrogen, argon, nitrogen) and inert protective atmospheres from oxygen, for conditioning of process gases in metallurgical and chemical industries

Для подтверждения эффективности работы подобранных катализаторов на существующем оборудовании произвели технологический расчет блока каталитической очистки. Определили основные показатели процесса: скорость реакций и объем катализатора (таблица 3).

Таблица 3.

Сводная таблица результатов

Table 3.

Summary table of results

Катализаторы Catalysts	Относительная эффективность Relative effectiveness	Скорость реакции окисления, г/м^{3}с The rate of the oxidation reaction, g/m	Содержание Pt, Pd, % Content Pt, Pd, %	Необходимый объем катализатора, м^3 The required amount of catalyst, m^3
АП-64 Ap-64	1,0	3522	0,55 Pt	0,030
Тип 1 Type 1	1,3	4577	0,55 Pd	0,027
Тип 2 Type 2	1,1	3873	0,6 Pt	0,028
Тип 3 Type 3	1,7	5986	1,1 Pd	0,025

Исходя из расчетных данных 3 три типа катализаторов могут конкурировать друг с другом, так как скорость реакции выше применяемого в настоящее время. Объем катализатора АП-64, необходимый для очистки гелиевого концентрата от примесей водорода – 4% об. и метана-1% об., составляет 0,030 м^3. Данный объем подтвержден фактически загруженным объемом в действующие реакторы Р-2 – 0,03 м^3 (19 кг) и, следовательно, объем предлагаемых катализаторов также удовлетворяет требуемым параметрам загрузки.

Кроме физико-химических характеристик, важнейшим показателем для применения катализаторов в промышленном масштабе является его стоимость. Стоимость 1-го типа ниже всех предлагаемых, при этом относительная эффективность существенно выше как 2-го типа, так и применяемого в данный момент. Эффективность и стоимость 2-го типа приблизительно одинакова. Тип 3 значительно выше и по эффективности, и по стоимости, он в разы дороже [3, 9, 10].

Поэтому целесообразно произвести расчет экономической эффективности от применения 1-го типа катализатора. Годовое потребление материальных и энергетических ресурсов, фонд заработной платы персонала, социальные взносы, остальные виды постоянных затрат, отнесенные к процессу тонкой очистки гелия, остаются на прежнем уровне. Исключение составляют затраты на приобретение катализатора и его замену.

В расчете не учитывались дополнительные преимущества, которые можно получить за счёт увеличения ресурса оборудования (таблица 4).

Экономия затрат в виде чистой прибыли определяется путем сравнения текущих затрат на производство, предусмотренных новым проектом, и затрат действующего технологического процесса тонкой очистки гелия на установке, на сопоставимый объем очищенного гелия (таблица 5).

Таблица 4.

Расчет снижения затрат при применении катализатора первого типа

Table 4.

Calculation of cost reduction in the application of first type catalyst

Наименование статей затрат Name of cost items	Сумма затрат, тыс. р./год Amount of expenses, thousand roubles/year		
	По действующему процессу на сопоставимый объем According to the current process for a comparable amount	По новому процессу According to the new process	Отклонение предлагаемого решения от действующего Deviation of the proposed solution from the current one
Среднегодовые затраты на катализатор Average annual catalyst costs	317900	148588	169312
Среднегодовые затраты на замену катализатора Average annual cost of catalyst replacement	11 500	6 900	4 600
Итого Total	329400	155488	173912

Таблица 5.

Показатели экономической эффективности проекта тонкой очистки гелия, тыс. р.

Table 5.

Indicators of economic efficiency of the project of fine cleaning of helium, thousand rubles

Показатели Indicators	Значение Value
Капитальные вложения | Capital investment	–
Затраты на катализатор по действующему процессу | The cost of the catalyst according to the current process	329400
Затраты на катализатор по усовершенствованному процессу | The cost of the catalyst improved	155488
Прибыль | Profit	173912
Налог на прибыль | Profit tax	34782
Чистая прибыль | Net profit	139130

Заключение

Как упоминалось выше, рассматривались 3 типа катализаторов. Расчет экономической эффективности подтвердил целесообразность замены. Чистая прибыль от использования катализатора серии АПК-НШГС производства ООО «НИАП-КАТАЛИЗАТОР» составила более 139 тыс. р. Для подтверждения его работоспособности на существующем оборудовании необходимо провести опытно-промышленные испытания на пилотной установке либо без неё.

Характеристики 1-го и 2-го типа наиболее близки к существующему алюмоплатиновому катализатору АП-64. Причем стоимость 1-го типа существенно ниже, поэтому он в первую очередь рекомендуется к опытно-промышленным испытаниям и дальнейшему применению на существующем оборудовании. Катализатор 3-го типа обладает наилучшими характеристиками, но его цена в два раза выше рассматриваемых аналогов, поэтому его применение целесообразно в случае повышенного содержания примесей в гелиевом концентрате.

Технологический расчет производился на основе проектной загрузки установки по сырью газом Оренбургского месторождения (ОНГКМ) – 380 нм^3/ч. Сегодня сырьё ОНГКМ составляет около 70% от всего объема перерабатываемого газа на гелиевом заводе и будет продолжать снижаться, соответственно будет падать загрузка реакторов отделений тонкой очистки. Учитывая снижение загрузки реакторов по сырью, необходимо увеличить сроки полезного использования катализатора до 5 лет и выполнить расчет экономической эффективности использования катализатора 1-го типа.

ЛИТЕРАТУРА

1 Гришина М.А., Мардашев Ю.С., Горячева В.Н. Каталитические системы на основе металлических катализаторов в реакции окисления метана // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. №. 6 (18). doi: 10.18698/2308-6033-2013-6-794

2 Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов: изд. 3-е. В 2-х кн. М.: Химия, 2002.

3 Защита атмосферы от промышленных загрязнений: справ. изд. в 2-х ч.; под ред. Калверта С., Инглунда Г. М.: Металлургия, 1988. 758 с.

4 Калашникова М.Ю., Беккер В.Я., Макаров А.М. Фазовый состав и скорость осаждения гидроксидов алюминия в зависимости от условий получения вторичного носителя при изготовлении блочных катализаторов // ЖПХ. 1996. Т. 69. № 12. С. 1997–2000.

5 Копша Д.П., Гоголева И.В., Изюмченко В.Д. Возможные пути оптимизации процесса тонкой очистки гелиевого концентрата // Научно-технический сборник вести газовой науки. 2015. № 1 (21). С. 39–44.

6 Кравцов А.В., Иванчина Э.Д. Компьютерное прогнозирование работы промышленных катализаторов процессов риформинга и изомеризации углеводородов бензиновой фракции: учебное пособие. Томск: Томский политехнический университет, 2010. 129 с.

7 Кузьмина Р.И. Каталитический риформинг углеводородов. Саратов: СЮИ МВД России, 2010. 252 с.

8 Лихницкий К.В., Яскула М. Перспективные катализаторы окисления водорода для топливных элементов // Proceedings of IX International Conference «Hydrogen Material Science and Chemistry of Metal Hydrides». 2005. С. 988–989.

9 Пантелеев Д.В., Столыпин Е.В., Волченко А.Г. Развитие промышленного производства гелия в ООО «Газпром добыча Оренбург» // Нефтегазовое дело. 2011. № 2. С. 128–135.

10 Об исчислении и взимании платы за негативное воздействие на окружающую среду (постановление Правительства РФ № 255 от 3 марта 2017 года).

11 Слейш А., Чоудри У., Вагнер Ф. и др. Катализ в промышленности: пер. с англ; под ред В.М. Грязнова. М.: Мир, 1986. 291 с.

12 Сычева А.М., Генкин В.С., Мельников С.И., Дюрик Н.М. Реактор для проведения каталитических процессов // Открытия. Изобретения. 1983. № 46. С. 18-19.

13 Романовский Б.В. Основы химической кинетики. Москва: Экзамен, 2006. 415 с.

14 Стронберг А.Г. Физическая химия. Москва: Высшая школа, 2003. 527 с.

15 Тимонова О.А., Мардашев Ю.С. Катализаторы полного окисления природного газа как основа экологически щадящей энергетики // МПГУ, VII Международная конференция. Москва – Ереван, 2008. С. 274–275.

16 Филимонова И.В. Структурообразование и свойства высокопористого блочного катализатора окисления молекулярного водорода. Пермь, 1998. 165 с.

17 Широкопояс С.И. Гидродеароматизация углеводородного сырья с использованием биметаллических платино-палладиевых катализаторов на основе мезопористых алюмосиликатов. Москва, 2014. 121 с.

REFERENCES

1. Grishina M.A., Mardashev Y.S., Goryacheva V.N. Catalytic systems based on metal catalysts in the oxidation of methane. *Inzhenernyj zhurnal: nauka i innovacii* [Engineering journal: science and innovation]. 2013. vol. 6. doi: 10.18698/2308-6033-2013-6-794 (in Russian).

2 Dynarski Y.I. Processy i apparaty himicheskoj tekhnologii [Processes and apparatuses of chemical technology]. Moscow, Chemistry, 2002. (in Russian).

3 Zashchita atmosfery ot promyshlennyh zagryaznenij [The protection of the atmosphere from industrial air pollution; edited by S. Calvert, G. Englund]. Moscow, Metallurgy, 1988. 58 p. (in Russian).

4. Kalashnikov M.Yu., Becker V.J., Makarov A.M. Phase composition and deposition rate of aluminum hydroxides depending on the conditions for obtaining secondary carrier in the manufacture of block catalysts. *ZhPH* [JPH]. 1996. vol. 69. no. 12. pp. 1997-2000. (in Russian).

5 Kopsha D.P., Gogoleva I.V., Izyumchenko V.D Possible ways of optimizing the process of fine purification of helium concentrate. *Nauchno-tekhnicheskij sbornik vesti gazovoj nauki* [Scientific and technical collection is to conduct gas science]. 2015. no. 1 (21). pp. 39-44. (in Russian).

6 Kravtsov A.V., Ivanchina E.D. Komp'yuternoe prognozirovanie raboty promyshlennyh katalizatorov processov riforminga i izomerizacii uglevodorodov benzinovoj frakcii [Computer prediction of the operation of industrial catalysts for the processes of reforming and isomerization of hydrocarbons in the gasoline fraction]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University, 2010. 129 p. (in Russian).

7 Kuzmina R.I. Kataliticheskij riforming uglevodorodov [Catalytic reforming of hydrocarbons]. Saratov, MVD of Russia, 2010. 252 p. (in Russian).

8 Lichnicki K.V., Jaskula M. Promising catalysts for the oxidation of hydrogen for fuel cells. Proceedings of IX International Conference "Hydrogen Material Science and Chemistry of Metal Hydrides". 2005. pp. 988-989. (in Russian).

9 Panteleev D.V., Stolypin E.V., Volchenko A.G. The development of industrial production of helium in OOO "Gazprom dobycha Orenburg". *Neftegazovoe delo* [Oil and gas business]. 2011. no. 2. pp. 128-135. (in Russian).

10 Ob ischislenii i vzimanii platy za negativnoe vozdejstvie na okruzhayushchuyu sredu [On the calculation and collection of fees for a negative impact on the environment (Decree of the Government of the Russian Federation No. 255 of March 3, 2017)]. in Russian).

11. Slash A., Chaudhry U., Wagner F. et al. Kataliz v promyshlennosti [Catalysis in industry; edited by V.M. Gryaznov]. Moscow, Mir, 1986. 291 p. (in Russian).

12 Sycheva A.M., Genkin V.S., Mel'nikov S.I., Durik N.M. Reactor for carrying out catalytic processes. *Otkrytiya. Izobreteniya* [Open. Inventions]. 1983. no. 46. pp. 18-19. (in Russian).

13 Romanovskii B.V. Osnovy himicheskoj kinetiki [Fundamentals of chemical kinetics]. Moscow, Exam, 2006. 415 p. (in Russian).

14 Stronberg A.G. Fizicheskaya himiya [Physical chemistry]. Moscow, Higher school, 2003. 527 p. (in Russian).

15 Timonova O.A., Mardashev Yu.S. Catalysts for complete oxidation of natural gas as the basis of environmentally friendly energy. MPGU, VII Mezhdunarodnaya konferenciya [Moscow pedagogical state University, VII International conference]. Moscow – Yerevan, 2008. pp. 274–275. (in Russian).

16 Filimonova I.V. Strukturoobrazovanie i svojstva vysokoporistogo blochnogo katalizatora okisleniya molekulyarnogo vodoroda [Structure formation and properties of highly porous block catalyst of molecular hydrogen oxidation]. Perm, 1998. 165 p. (in Russian).

17 Shirokopoyas S.I. Gidrodearomatizaciya uglevodorodnogo syr'ya s ispol'zovaniem bimetallicheskih platino-palladievyh katalizatorov na osnove mezoporistyh alyumosilikatov [Hydrodearomatization hydrocarbons using bimetallic platinum-palladium catalysts based on mesoporous aluminosilicates]. Moscow, 2014. 121 p. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Татьяна А. Курякова к.т.н., доцент, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина филиал в г. Оренбурге, 460047, г. Оренбург, ул. Юных Ленинцев д. 20, tany_kur1975@mail.ru

Евгений А. Федоров заместитель начальника технического отдела, гелиевый завод ООО "Газпром добыча Оренбург", 460058 г. Оренбург, ул. Чкалова 1/2, tany_kur1975@mail.ru

Лариса В. Межуева д.т.н., профессор, кафедра пищевой биотехнологии, Оренбургский государственный университет, пр. Победы, 13, г. Оренбург, 460018, Россия, larisam57@mail.ru

Артем В. Быков к.т.н., доцент кафедры пищевой биотехнологии, Оренбургский государственный университет, пр. Победы, 13, г. Оренбург, 460018, Россия, artem19782@yandex.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Татьяна А. Курякова провела эксперимент, выполнила расчеты

Евгений А. Федоров обзор литературных источников по исследуемой проблеме

Лариса В. Межуева консультация в ходе исследования

Артем В. Быков написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 01.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 16.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Tatyana A. Kuryakova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, RSU of oil and gas (NSU) branch in Orenburg, st. Young Leninists, 20, 460047, Orenbburg, Russia, tany_kur1975@mail.ru

Evgeniy A. Fedorov deputy head of technical department, helium plant OOO "Gazprom dobycha Orenburg", 460058 Orenburg, Chkalova str., 1/2, tany_kur1975@mail.ru

Larisa V. Meghueva Dr. Sci. (Engin.), professor, department of food biotechnology, Orenburg state university, prospekt Pobedy, 13, Orenburg, 460018, Russia, larisam57@mail.ru

Artem V. Bykov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, department of food biotechnology, Orenbrug state university, prospekt Pobedy, 13, Orenburg, 460018, Russia, artem19782@yandex.ru

CONTRIBUTION

Tatyana A. Kuryakova conducted an experiment, performed computations

Evgeniy A. Fedorov review of the literature on an investigated problem

Larisa V. Meghueva consultation during the study

Artem V. Bykov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.1.2018

ACCEPTED 11.16.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 628.316.12

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-322-329

Применение углеродных сорбентов в технологии очистки сточных вод от ртути

Елена А. Фарберова [1] elenafarb@gmail.com
Михаил Б. Ходяшев [3] hodyashevmb@ecology.perm.ru
Владимир Ю. Филатов [2] usr04011@vyatsu.ru
Николай Б. Ходяшев [1] vvv@purec.pstu.ac.ru
Елена А. Тиньгаева [1] teengaeva@mail.ru
Александр Д. Ноздрюхин [3] nozd@ecology.perm.ru

[1] Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Комсомольский пр-т, 29, Пермь, 614990, Россия
[2] Вятский государственный университет, ул. Московская, 36, Киров, 610000, Россия
[3] Уральский государственный научно-исследовательский институт региональных экологических проблем, Комсомольский пр-т, 61а, 614039, Россия

Аннотация. В настоящей работе представлены исследования по анализу состава сточной воды производства хлора и щелочи путем электролиза и использованием ртутного катода, отобранной на разных стадиях очистки. Показано, что содержание ртути в сточной воде, поступающей на очистку, находится в пределах 14,06–14,15 мг/дм^3. Осаждение ионов ртути и фильтрация снижает их содержание до 0,005 мг/дм^3, последняя стадия доочистки на аниоките АВ-17-8 позволяет достичь концентрации ртути в сбрасываемом в водоём стоке 0,001–0,002 мг/дм^3. Кроме ртути в сточной воде содержатся в достаточно высоких концентрациях ионы натрия, калия, железа, алюминия и кальция. Основным анионом в сточной воде является анион хлора, содержание которого существенно снижается только после очистки на анионите. Проведены экспериментальные исследования по использованию углеродных сорбентов в процессе доочистки сточной воды от ртути после стадии осаждения и фильтрации. Испытания модифицированных углеродных сорбентов по извлечению ртути из модельных растворов с различной концентрацией проведены в статических условиях. Показано, что большую глубину очистки обеспечивают активные угли АГ-3 и АГ-5, модифицированные HNO_3 и MnS. Степень очистки при концентрациях ртути в очищаемых раствора 1,0-11,8 мг/дм^3, составила 97–99%. Показана эффективность применения активных углей марок АГ-3 и АГ-5 (производства АО «Сорбент» г. Пермь), модифицированных активными компонентами. Испытания углеродных сорбентов в неподвижном слое в динамических условиях по извлечению ртути из сточной воды предприятия с концентрацией 0,01–0,02 мг/дм^3 позволили снизить содержание ртути в очищенной воде до 10^{-4} мг/дм^3.

Ключевые слова: очистка ртутьсодержащих сточных вод, состав сточных вод, углеродные сорбенты, модифицмрованный углеродный сорбент, адсорбционная доочистка.

Use of carbon sorbents in process of Hg-ions removal from treated wastewater

Elena A. Farberova [1] elenafarb@gmail.com
Mikhail B. Khodyashev [3] hodyashevmb@ecology.perm.ru
Vladimir Yu. Filatov [2] usr04011@vyatsu.ru
Nikolay B. Khodyashev [1] vvv@purec.pstu.ac.ru
Elena A. Teengaeva [1] teengaeva@mail.ru
Alexandr D. Nozdrukhin [3] nozd@ecology.perm.ru

[1] Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Perm national research polytechnic university", Komsomolsky prosp., 29, Perm, 614990, Russia
[2] Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Vyatka State University", Moskovskaya str., 36, Kirov, 610000, Russia
[3] Ural state research Institute of regional environmental problems, Komsomolsky prosp., 61a, Perm, 614039, Russia

Abstract. Studies on the analysis of composition of wastewater from chlorine and alkali production process, sampled at the treatment different stages, treated by electrolysis and the mercury cathode use, are presented in this paper. It is demonstrated that Hg-content range in the wastewater entering the post-treatment stage is 14.06–14.15 mg/dm^3. Hg-ions sedimentation and filtration allow to reduce such content to 0.005 mg/dm^3, while the final post-treatment stage with use of the anionite of AB-17-8 type allows to achieve Hg-concentration in effluents discharged to water bodies with range of 0.001–0.002 mg/dm^3. In addition to mercury, the wastewater contains relatively high concentrations of sodium, potassium, iron, aluminum and calcium ions. The main anion type in waste water is a chlorine anion; its content can be significantly reduced only after the post-treatment with the anionites. Experimental studies were carried out on the use of carbon sorbents in the process of wastewater post-treatment with regard to Hg-ions after the sedimentation and filtration stage. Tests of modified carbon sorbents for Hg-ion removal from standardized test solutions with different concentrations were carried out under static conditions. It was demonstrated that the higher post-treatment degrees were achieved with active carbons of АГ-3 and АГ-5 types, modified with HNO_3 and MnS. Purification degree was 97–99% with 1,0-11,8 mg/dm^3 Hg-concentration in treated solutions. Usage effectiveness of active carbons of АГ-3 and АГ-5 types (produced at "Sorbent JSC" Perm, Russia), modified with active compounds, was demonstrated.

Keywords: treatment of wastewater with Hg-content, wastewater composition, carbonic sorbents, modified carbonic sorbent, adsorptive posttreatment

Для цитирования

Фарберова Е.А., Ходяшев М.Б., Филатов В.Ю., Ходяшев Н.Б., Тиньгаева Е.А., Ноздрюхин А.Д. Применение углеродных сорбентов в технологии очистки сточных вод от ртути // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 322–329. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-322-329

For citation

Farberova E.A., Khodyashev M.B., Filatov V.Yu., Khodyashev N.B., Teengaeva E.A., Nozdrukhin A.D.. Use of carbon sorbents in process of Hg-ions removal from treated wastewater. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 322–329. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-322-329

Введение

В связи с высокой техногенной эмиссией ртути проблема снижения ртутного загрязнения окружающей среды остается актуальной. Устаревшие технологии очистки производственных сточных вод предприятий не позволяют проводить их глубокую очистку от ртути. В результате чего загрязненные ртутью стоки продолжают поступать в водные объекты, отравляя животный и растительный мир.

При работе хлорщелочных производств с использованием ртутных электролизеров образуются сточные воды, содержащие соединения ртути. Типовая схема очистки сточных вод предприятий предусматривает однопоточное извлечение ртутьсодержащего шлама из сточных вод. Она основана на осаждении ртути в щелочной среде гидросульфидом натрия с последующим связыванием избытка сульфид-иона сульфатом железа (II). Затем осаждение избытка ионов железа (II) осуществляют раствором щелочи. Образующуюся суспензию отфильтровывают от осадка с добавкой фильтровспомогательного материала (перлита) на фильтр-прессе. Потом очищенную сточную воду, содержащую не более 0,05 мг/дм^3 ионов ртути, фильтруют через песчаный фильтр. Вторая стадия доочистки осуществляется на фильтре с ионообменной смолой АВ-17–8 до 0,002 мг/дм^3 ртути в очищенной воде, которая выпускается в канализационный коллектор. Очищенные сточные воды сбрасываются в водные объекты.

Данное исследование направлено на изучение возможности доочистки сточной воды после осаждения до содержания ртути в сбрасываемом стоке – 0,0002–0,00002 мг/дм^3.

Анализ имеющихся в литературе данных указывает на то, что на сегодняшний день проблема демеркуризации сточных вод до уровня ПДК рыбохозяйственных водоемов (0,00001 мг/дм^3) не решена.

Все методы очистки сточных вод от ионов ртути можно разделить на несколько групп.

1. Методы очистки сточных вод от ртути, основанные на переводе ионов ртути в трудно-растворимые соединения. В этой группе методов в качестве осадителя чаще всего предлагается использовать сульфид или гидросульфид натрия в различных условиях [1]. Данный метод позволяет снизить содержание ионов ртути в сточных водах лишь до 0,002–0,005 мг/дм^3. Следует отметить, что в присутствии избытка в растворе Na_2S и NaHS образуются растворимые комплексные соединения $Na_2[HgS_2]$. Отрегулировать соотношение осадителей с содержанием ионов ртути в сточных водах промышленных предприятий практически невозможно, в связи с чем после осаждения и фильтрации сточная вода подвергается доочистке на анионообменнике.

Для осаждения ртути из сточных вод предлагается использовать водную суспензию мелкодисперсной серы в количестве 0,05–0,10 масс. % от количества сточных вод [2]. Суспензия дополнительно содержит смачиватель. Процесс очистки ведут при pH 2–4 и температуре 20–30 °С. Этот метод позволяет очистить сточную воду до остаточной концентрации ртути 0,005 мг/дм^3.

Извлечение ртути из сточных вод может быть осуществлено путем осаждения ртути на поверхности свежеосажденного сульфида марганца. При этом образуется компактный осадок, который легко отделяется от очищаемой воды. Метод эффективен при проведении процесса очистки в несколько стадий. В оптимальных условиях остаточное содержание ртути в очищенной воде достигает лишь 0,1 мг/дм^3[3].

2. Флотационные и экстракционные методы очистки обеспечивают остаточную концентрацию ртути в очищенном растворе 0,005 мг/дм^3 [4].

3. Сорбционные методы очистки [5] могут быть эффективно применены только на стадиях доочистки сточных вод при концентрациях ионов ртути менее 0,1 мг/дм^3.

Применение ионообменного метода доочистки сточной воды от ртути позволяет очистить воду до 0,005 мг/дм^3.

Данная работа посвящена разработке новых сорбционных материалов, использование которых в технологии очистки промышленных сточных вод от ртути обеспечит снижение антропогенного воздействия на окружающую среду.

Сорбционные свойства активных углей по отношению к ионам тяжелых металлов, в том числе и ртути, относительно невелики. Однако модифицирование их поверхности может привести к повышению сорбционной емкости углеродных материалов.

Активные угли хорошо зарекомендовали себя в процессах доочистки воды от различного рода хлорорганических соединений, фенолов, пестицидов, нефтепродуктов, соединений тяжелых металлов и др. Эффективный механизм адсорбции на активных углях (АУ) объясняется тем, что атомы углерода на поверхности графитоподобных микрокристаллитов находятся в ином электронном и энергетическом состоянии, чем атомы объемной фазы, особенно в местах дефектов кристаллической решетки. Наличие у таких атомов свободных валентностей обеспечивает их химическое и сорбционное взаимодействие с различными веществами [6].

АУ характеризуются развитой полидисперсной пористой структурой. Характер пористой структуры АУ в значительной степени зависит

от используемых сырьевых материалов и условий их получения [7]. Энергетическая неоднородность поверхности АУ приводит к химической сорбции атмосферного кислорода, в результате чего образуются кислородсодержащие поверхностные функциональные группы, предположительно, основного характера.

Химическая природа поверхности АУ играет важную роль как в процессах адсорбции, так и в поведении АУ в водных растворах электролитов [8].

Благодаря особенностям физико-химической структуры активных углей их поверхность может быть модифицирована различными методами с целью получения специфических сорбентов с заданными свойствами.

Известны работы по модифицированию активных углей раствором тиосульфата натрия [9]. Процесс сорбции ионов ртути на этом сорбенте эффективно протекает в интервале pH от 1 до 7. Встречаются исследования по применению промышленных марок активных углей разных производителей для извлечения ионов ртути из водных растворов. В этих работах показано, что степень извлечения Hg^{2+} составляет 99,0–99,8% при pH 4–5. Однако все исследования проведены в статических условиях, не указано исходное содержание ртути в очищаемой воде, что важно при определении степени извлечения.

В работе [10] авторы предлагают механизм извлечения ионов ртути из сточных вод на угольном сорбенте. Процесс извлечения Hg^{2+} обусловлен двумя стадиями:

– адсорбция ионов ртути на поверхности активного угля, которая протекает в основном в интервале pH = 4 – 9. Скорость адсорбционной стадии достаточно велика;

– восстановление Hg^{2+} до элементарной ртути, которое протекает в основном при pH ниже 3–4 и выше 9–10, то есть в кислой и щелочной средах.

На основании анализа известных литературных данных выбрано основное направление данной работы – исследование возможности использования исходных и модифицированных активных углей производства АО «Сорбент» г. Пермь для доочистки сточной воды производства хлора с использованием ртутного катода от ионов ртути после стадий осаждения и фильтрации.

Материалы и методы

Для исследования представлены пробы сточной воды хлорщелочного производства с использованием ртутных электролизеров с разных стадий процесса очистки:

– исходная сточная вода (проба 1, 2);

– сточная вода после стадии осаждения и фильтрации (проба 3);

– сточная вода после очистки на анионите АВ-17–8 (пробы 4, 5).

В работе исследована возможность использования адсорбционной доочистки сточной воды на углеродных сорбентах.

В качестве углеродных сорбентов использовали образцы промышленных активных углей марок БАУ, АГ-3 и АГ-5 производства АО «Сорбент» г. Пермь (таблица 1).

Таблица 1.

Характеристики активных углей

Table 1.

Characteristics of active carbon

Тип активного угля Active carbon type	БАУ-МФ BAU-MF	АГ-3 AG-3	АГ-5 AG-5
Сырье Raw material	Древесное Wood	Каменноугольное Coal	Каменноугольное Coal
Форма частиц Particle shape	Дробленный, неправильной формы Crushed, irregular-shaped	Цилиндрические гранулы диаметром 1,5–2,0 мм Cylindrical granules with a diameter of 1,5–2,0 mm	Цилиндрические гранулы диаметром 1,0–1,5 мм Cylindrical granules with a diameter of 1,5–2,0 mm
V_{Σ}, $см^3/г$ V_{Σ}, sm^3/g	1,2	0,80	0,86
$S_{БЭТ}$, $м^2/г$ $S_{БЭТ}$, m^2/g	608	1034	904,5
W_0, $см^3/г$ W_0, sm^3/g	0,299	0,488	0,503
$V_{ми}$, $см^3/г$ $V_{мі}$, sm^3/g	0,2439	0,451	0,321
$V_{ме}$, $см^3/г$ $V_{ме}$, sm^3/g	0,0626	0,053	0,100

Анализ параметров пористой структуры углеродных сорбентов проводился с использованием быстродействующего анализатора сорбции газов NOVA-1200e методом снятия изотермы адсорбции азота при температуре 77 К. Суммарный объём пор по воде (V_{Σ}, $см^3/г$) определяли в соответствии с ГОСТ 1719–71.

Определение содержания ртути производилось методом атомно-эмиссионного спектрального анализа с индуктивно связанной плазмой на приборе Thermo iCAP 6500 Duo с проточной ртутно-гидридной системой, предел обнаружения ртути – 0,01 $мкг/дм^3$. В качестве восстановителя ионов ртути в анализируемой пробе использовался 0,5%-ный раствор тетрагидробората натрия, стабилизированный 0,5%-ным раствором гидроксида натрия. Оптимальной для данных условий анализа была выбрана спектральная линия 184,950 нм.

Динамические испытания проводили в динамических трубках диаметром 2,0 см с неподвижным слоем сорбента. Высота слоя сорбента – 10 см (объём сорбента 30 $см^3$). Скорость потока очищаемой воды составляла 8–10 $см^3$/мин. За слоем сорбента отбирали пробы воды для анализа остаточного содержания ртути.

Пробы сточной воды и воды, прошедшей различные стадии очистки, были проанализированы на содержание сухого остатка, pH среды и ХПК. Результаты анализа приведены в таблице 2.

Проведен анализ всех представленных проб на содержание катионов (таблица 3).

Таблица 2.

Основные характеристики проб воды

Table 2.

Main characteristics of water samples

№ пробы Sample number	pH	ХПК, мг $O_2/дм^3$ COD, mg O_2/dm^3	Содержание сухого остатка, $мг/дм^3$ Nonvolatile content, mg/dm^3
1,2	7,98–7,94	12–20	3458,5–3581,0
3	6,25	12	2385,5
4, 5	7,17–7,68	32–84	2113,0–3260,0

Таблица 3.

Катионный состав проб сточных вод и очищенной воды, $мг/дм^3$

Table 3.

Cationic composition of sewage and treated water samples, mg/dm^3

№	Al	Ba	Bi	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sr	Ti	Zn	Hg
1	2,471	0,0233	0,0027	10,59	0,0013	0,0245	0,0945	4,066	4,271	1,582	0,0539	1719	0,0675	0,0179	0,1946	0,10	0,0153	14,06
2	2,763	0,0253	0,0024	10,78	0,0016	0,0272	0,1136	4,899	4,310	1,654	0,0621	1726	0,0784	0,0192	0,1977	0,013	0,0237	14,15
3	0,0127	0,0153	0,0019	12,05	0,0048	0,0089	0,0025	1,074	4,102	2,000	0,2999	1149	0,2670	0,0020	0,1760	0,0003	0,0003	0,0049
4	0,2745	0,0277	0,0009	12,00	0,0004	0,0069	0,0037	0,5449	0,7718	2,813	0,0210	362,9	0,0155	0,0009	0,1099	0,0138	–	0,0002
5	0,2959	0,0234	0,0012	13,74	0,0013	0,0016	0,0014	0,3315	0,666	2,629	0,0932	71,33	0,0645	0,0012	0,1366	0,0124	–	0,0011

Установлено, что содержание ртути в исходной сточной воде находится на уровне 14,06–14,15 мг/дм^3. После осаждения и фильтрации вода поступает на доочистку с концентрацией около 0,005 мг/дм^3, после сорбционной очистки на аниоките АВ-17–8 очищенная вода содержит 0,001–0,0002 мг/дм^3. Сточная вода содержит высокие концентрации ионов железа, алюминия, кальция, калия и натрия. В небольших количествах содержатся ионы бария, висмута, кобальта, марганца, магния, никеля, хрома, меди и других металлов. В процессе очистки наблюдается снижение содержания ионов Al^{3+}, Cr^{3+}, Cu^{2+}, Fe^{3+} на всех стадиях очистки. Содержание ионов Ba^{2+}, Bi^{3+}, Ca^{2+}, Co^{2+}, Mg^{2+}, Mn^{2+}, Ni^{2+}, Sr^{2+} практически остается без изменения во всем цикле переработки сточной воды. Сточная вода содержит очень большое количество соединений натрия и калия, заметное снижение содержания которых наблюдается только после ионообменной колонны. Основным анионом в сточной воде является анион хлора, содержание которого существенно снижается только после очистки на аниоките.

Содержание ионов ртути в пробах исходной сточной воды составляло 14,06–14,15 мг/дм^3. После осаждения и фильтрации оно снизилось до 0,0049 мг/дм^3 и в окончательно очищенной воде составило 0,0002–0,0011 мг/дм^3.

Результаты и обсуждение

Образцы активных углей марок БАУ-МФ, АГ-3 и АГ-5 были модифицированы путём импрегнирования их поверхности растворами: азотной кислоты, сульфида марганца (II), тиосульфата натрия и спиртовым раствором йода.

С целью предварительной оценки сорбционных свойств приготовленных образцов сорбентов были проведены их испытания на модельном растворе соли Hg^{2+} с концентрацией 6,25 мг/дм^3 (приготовлен на 1%-ном растворе хлорида натрия) в статических условиях. Навеску углеродного сорбента помещали в колбу, заливали раствором, содержащим Hg^{2+}, в соотношении 1:10 и перемешивали на качалке в течение 1 ч со скоростью 120 об/мин (таблица 4).

Как следует из табл. 4, большую глубину очистки обеспечивают активные угли АГ-3 и АГ-5, модифицированные HNO_3 и MnS.

В статических условиях определена сорбционная способность углеродных сорбентов на основе АГ-3 и АГ-5, импрегнированных HNO_3 и MnS, в зависимости от содержания ионов ртути в хлоридном модельном растворе.

Таблица 4.

Испытания углеродных сорбентов по извлечению Hg^{2+} из модельных растворов в статических условиях

Table 4.

Tests of carbon sorbents on extraction of Hg^{2+} from standardized test solutions in static conditions

Уголь Carbon	Способ модифицирования | Modification method							
	HNO_3		I_2		MnS		$Na_2S_2O_3$	
	C_{Hg} остат., мг/дм^3 C_{Hg} resid., mg/dm^3	α, %	C_{Hg} остат., мг/дм^3 C_{Hg} resid., mg/dm^3	α, %	C_{Hg} остат., мг/дм^3 C_{Hg} resid., mg/dm^3	α, %	C_{Hg} остат., мг/дм^3 C_{Hg} resid., mg/dm^3	α, %
БАУ-МФ	0,7884	87,2	0,8108	87,0	0,7226	88,4	3,592	42,5
АГ-5	0,0010	98,7	0,1359	97,8	0,0383	99,4	0,4848	92,3
АГ-3	0,0348	99,4	0,1564	97,8	0,0740	98,8	0,6041	90,3

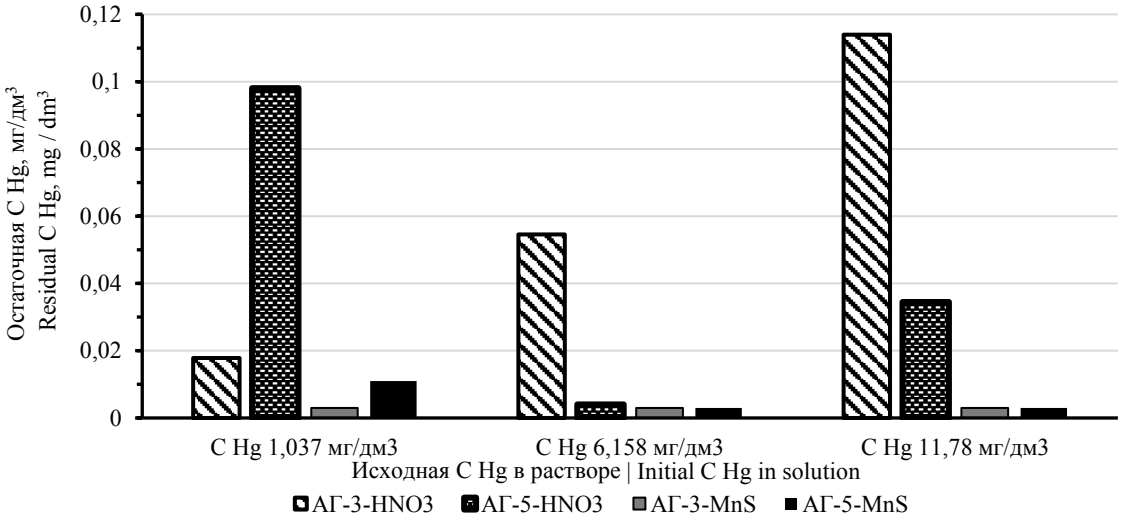


Рисунок 1. Зависимость сорбционной способности углеродных сорбентов от концентрации ртути в модельном растворе (условия статические)

Figure 1. Dependence of sorption capacity of carbon sorbents on Hg concentration in standardized test solution (static conditions)

Результаты, представленные на рисунке 1, подтверждают достаточно высокие сорбционные свойства исследованных образцов при извлечении ионов ртути из растворов в диапазоне концентраций 11,8–1,0 мг/дм^3.

При достаточно высокой концентрации ртути в очищаемом растворе применение углеродных сорбентов позволяет снизить её в 73–230 раз. Полученные предварительные результаты позволяют прогнозировать возможность использования данных образцов в динамическом режиме доочистки ртутьсодержащих сточных вод.

Образцы на основе АГ-5, модифицированные HNO_3 и MnS, испытаны в динамическом режиме с неподвижным слоем сорбента высотой 10 см (V сорбента = 30 см^3) в процессе очистки реальной сточной воды пробы 1 и 3 с разным содержанием ртути (таблица 5). Через слой сорбентов пропущено около 17 колоночных объёмов воды.

Таблица 5.

Характеристика сорбционной способности слоя сорбента по реальной сточной воде с разных стадий очистки

Table 5.

Characteristics of sorbent layer sorption capacity in actual waste water from different stages of treatment

Объем очищенной воды, см^3 Quantity of treated water, cm^3	Остаточная концентрация ионов Hg^{2+}, мг/дм^3 Residual concentration of Hg^{2+} ions, mg/dm^3			
	$C_{исх}$ = 13,5 мг/дм^3 | $C_{initial}$ = 13,5 mg/dm^3		$C_{исх}$ = 0,02 мг/дм^3 | $C_{initial}$ = 0,02 mg/dm^3	
	АГ-5-HNO_3 AG-5-HNO_3	АГ-5-MnS AG-5-MnS	АГ-5-HNO_3 AG-5-HNO_3	АГ-5-MnS AG-5-MnS
50	0,0664	0,0834	0,00139	0,0004
100	0,1481	0,1823	0,00032	0,0003
150	0,1651	0,2109	0,00001	0,00001
200	0,1874	0,2549	$< 10^{-4}$	$< 10^{-4}$
250	0,2156	0,1964	$< 10^{-4}$	$< 10^{-4}$
300	0,2428	0,3097	$< 10^{-4}$	$< 10^{-4}$
350	0,2826	0,2721	$< 10^{-4}$	$< 10^{-4}$
400	0,2791	0,3675	$< 10^{-4}$	$< 10^{-4}$
450	0,3400	0,4062	$< 10^{-4}$	$< 10^{-4}$
500	0,3781	0,4047	$< 10^{-4}$	$< 10^{-4}$

Как видно из результатов, представленных в таблице 5, сорбенты обладают высокой ёмкостью поглощения, но при высоком содержании ртути в исходной сточной воде не обеспечивают достижения необходимого остаточного содержания ртути на уровне 10^{-4} мг/дм^3. При использовании сорбентов для доочистки (проба 3) сточной воды после фильтрации такой уровень концентрации достигается.

Полученные результаты проведенных исследований позволили рекомендовать активные угли марок АГ-5 и АГ-3, производства АО «Сорбент» г. Пермь, как основы углеродных сорбентов, модифицированных азотной кислотой и сульфидом марганца, для проведения испытаний на предприятиях по производству хлора и щелочи путем электролиза использованием ртутного катода в процессе доочистки сточной воды после песчаного фильтра.

Заключение

1. Проведены исследования катионного и анионного состава сточной воды хлор-щелочного производства с использованием ртутных электролизеров, отобранной на разных стадиях технологического процесса очистки. Установлено, что содержание ртути в исходной сточной воде находится на уровне 14,06–14,15 мг/дм^3, после осаждения и фильтрации вода поступает на доочистку с концентрацией около 0,005 мг/дм^3. После сорбционной очистки на аниоците АВ-17–8 очищенная вода содержит 0,001–0,0002 мг/дм^3.

2. Выбраны три марки промышленных активных углей производства АО «Сорбент», г. Пермь: АГ-3 и АГ-5, гранулированные на каменноугольной основе, БАУ, дробленный на древесной основе. Определены характеристики их пористой структуры. На их основе изготовлены образцы модифицированных углеродных сорбентов, путём окисления поверхности углей, методом импрегнирования тиосульфатом натрия, спиртовым раствором йода, сульфидом марганца.

3. Проведены испытания модифицированных углеродных сорбентов по извлечению ртути из модельных растворов с различной концентрацией в статических условиях. Показано, что большую глубину очистки обеспечивают активные угли АГ-3 и АГ-5, модифицированные HNO_3 и MnS. Степень очистки при концентрации ртути в очищаемых растворах 11,8–1,0 мг/дм^3 составила 97–99%.

4. Проведены статические испытания модифицированных углеродных сорбентов по извлечению ртути из исходной сточной воды с концентрацией 14,06 мг/дм^3. Получено, что при достаточно высокой концентрации ртути в очищаемом растворе применение углеродных сорбентов позволяет снизить её в 73–230 раз.

5. Проведены испытания в динамическом режиме образцов активных углей АГ-5 и АГ-3, модифицированных азотной кислотой и MnS, в неподвижном слое с высотой 10 см в процессе очистки реальной сточной воды пробы 1 и пробы после фильтрации. Установлено, что при пропускании 17 колоночных объёмов очищаемой воды через слой 10 см углеродные сорбенты, модифицированные азотной кислотой и сульфидом марганца, обладают высокой ёмкостью поглощения, но при использовании для очистки реальной сточной воды (концентрация ртути 13,5 мг/дм^3) не обеспечивают достижения необходимого остаточного содержания ртути на уровне $<10^{-4}$ мг/дм^3. При доочистке сточной воды после фильтрации при тех же условиях испытания достигается остаточное содержание ртути на уровне ПДК для рыбохозяйственных водоемов (0,00001 мг/дм^3).

ЛИТЕРАТУРА

1 Sodium sulfide treatment of mercury-containing wastewater // China Environ. Sci. 1995. V. 15. № 2. P. 128–130.

2 Баутин В.И., Мальцев К.А., Царева Г.А., Небылица В.В. Способ очистки сточных вод от ртути // Технологические аспекты охраны окружающей среды. 1989. № 4. С. 20.

3 Пат. № 2123478, RU, C 02 F 1/62, C01G 13/00. Способ очистки промышленных сточных вод от ртути / Гольдинов А.С., Лупков В.А. № 96122332/25; Заявл. 96122332; Опубл. 20.12.98, Бюл. № 35.

4 Зубков А.А., Шуленина З.М. Использование флотации для снижения загрязнения окружающей среды при производстве ртути // Экология промышленного производства. 2012. № 4. С. 75–78.

5 Pat. № 4814091, US, C 02F 1/62. Process for removing metals from water / Napier J.M., Hancher C.M., Hackett G.D. Published 21.03.1989.

6 Аликин В.Н. и др. Современные технологии обработки воды. Получение питьевой воды высокого качества «Чистая вода», Т. 1. Москва: Недра, 2014. 207 с.

7 Мухин В.М., Тарасов А.В., Клушин В.Н. Активные угли России; под общ. ред. А.В. Тарасова. М.: Металлургия, 2000. 352 с.

8 Тарковская И.А. Окисленный уголь. Киев: Наукова думка, 1971. 200 с.

9 Ginocchio J.C. Metallionen und ihre Elimination // Chem. Rdsch. (Achw.). 1982. V. 35. № 44.

10 Ritter J.Q., Bidler J.P. Removal of mercury from waste water large – Scale perfomance ef an ion exchenge process // Water Sci. and Technol. 1992. V. 25. № 3. C. 165–172.

REFERENCES

1 Sodium sulfide treatment of mercury-containing wastewater. China Environ. Sci. 1995. vol. 15. no. 2. pp. 128–130. (in Chinese).

2 Bautin V.I., Mal'cev K.A., Careva G.A., Nebylica V.V. Method of sewage treatment from mercury. *Tekhnologicheskie aspekty ohrany okruzhayushchej sredy* [Technological aspects of environmental protection].1989. no. 4. pp.20. (in Russian).

3 Gol'dinov A.C., Lupkov V.A. Sposob ochistki promyshlennyh stochnyh vod ot rtuti [Method of Hg removal from wastewater]. Patent RF, no. 2123478,1998.

4 Zubkov A.A., Shulenina Z.M. Use of flotation process for reducing of environment contamination in result of mercury production. *Ehkologiya promyshlennogo proizvodstva* [Ecology of industrial processes]. 2012. no. 4. pp.75–78. (in Russian).

5 Napier J.M., Hancher C.M., Hackett G.D. Process for removing metals from water. Patent US, no. 4814091, 1989.

6 Alikin V.N. et al. Sovremennye tekhnologii obrabotki vody. Poluchenie pit'evoj vody vysokogo kachestva «Chistaya voda», T. 1. [Modern water treatment technology. Receiving high quality drinking water "Clean Water", V. 1]. Moscow, Nedra, 2014. 207 p. (in Russian).

7 Muhin V.M., Tarasov A.V., Klushin V.N. Aktivnye ugli Rossii [Active carbons in Russia]. Moscow, Metallurgiya, 2000. 352 p. (in Russian).

8 Tarkovskaya I.A. Okislennyj ugol' [Oxidized carbon]. Kiev, Naukova dumka, 1971. 200 p. (in Russian).

9 Ginocchio J.C. Metallionen und ihre Elimination. Chem. Rdsch. (Achw.). 1982. vol. 35. no. 44.

10 Ritter J.Q., Bidler J.P. Removal of mercury from waste water large – Scale perfomance ef an ion exchenge process. Water Sci. and Technol. 1992. vol. 25. no. 3. pp. 165–172.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Елена А. Фарберова к.х.н., доцент, кафедра химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Комсомольский пр-т, 29, г. Пермь, 614990, Россия, elenafarb@gmail.com

Михаил Б. Ходяшев к.х.н., отдел экологических проблем загрязнения водных объектов, Уральский государственный научно-исследовательский институт региональных экологических проблем, Комсомольский пр-т, 61а, Пермь, 614039, Россия, hodyashevmb@ecology.perm.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Elena A. Farberova Cand. Sci. (Chem.), associate professor, chemistry and biotechnology department, Perm national research polytechnic university, Komsomolsky av., 29, Perm, 614990, Russia, elenafarb@gmail.com

Mikhail B. Khodyashev Cand. Sci. (Chem.), department of ecological problems due to water bodies contamination, Ural state research Institute of regional environmental problems, Komsomolsky av., 61a, Perm, 614039, Russia, hodyashevmb@ecology.perm.ru

Владимир Ю. Филатов к.х.н., доцент, кафедра промышленной и прикладной экологии, Вятский государственный университет, ул. Московская, 36, Киров, 610000, Россия, usr04011@vyatsu.ru
Николай Б. Ходяшев д.т.н., профессор, кафедра химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Комсомольский пр-т, 29, 614990, Россия, vvv@purec.pstu.ac.ru
Елена А. Тиньгаева к.х.н., доцент, кафедра химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Комсомольский пр-т, 29, Пермь, 614990, Россия, teengaeva@mail.ru
Александр Д. Ноздрюхин инженер, отдел экологических проблем загрязнения водных объектов, Уральский государственный научно-исследовательский институт региональных экологических проблем, Комсомольский пр-т, 61а, Пермь, 614039, Россия, nozd@ecology.perm.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 22.09.2018
ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 29.10.2018

Vladimir Yu. Filatov Cand. Sci. (Chem.), associate professor, department of industrial and applied ecology, Vyatka state University, Moskovskaya str., 36, Kirov, 610000, Russia, usr04011@vyatsu.ru
Nikolay B. Khodyashev Dr. Sci. (Engin.), professor, chemistry and biotechnology department, Perm national research polytechnic university, Komsomolsky av., 29, Perm, 614990, Russia, vvv@purec.pstu.ac.ru
Elena A. Teengaeva Cand. Sci. (Chem.), associate professor, chemistry and biotechnology department, Perm national research polytechnic university, Komsomolsky av., 29, Perm, 614990, Russia, teengaeva@mail.ru
Alexandr D. Nozdrukhin engineer, department of ecological problems due to water bodies contamination, Ural state research Institute of regional environmental problems, Komsomolsky av., 61a, Perm, 614039, Russia, nozd@ecology.perm.ru

CONTRIBUTION

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.22.2018
ACCEPTED 10.29.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 66.067.8.081.3

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-330-336

Применение ионообменного волокна на стадии доочистки сточных вод гальванического производства

Юрий С. Перегудов [1] inorganic_033@mail.ru
Анна В. Тимкова [1] timkova.anna@mail.ru
Елена М. Горбунова [1] lobanova8686@gmail.com
Светлана Е. Плотникова [1] burkovasweta@yandex.ru

[1] Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. В гальваническом производстве используются большие объемы воды, которая на стадиях технологического процесса загрязняется различными соединениями. Сточная вода, содержащая ионы переходных металлов представляет собой не только опасный источник загрязнения окружающей среды, но и ценные отходы. Учитывая проблемы, связанные с экологией и рациональным использованием природных ресурсов необходимо создавать мало- и безотходные производства, в частности, разрабатывать новые технологические процессы и соответствующее оборудование, внедрять водооборотные циклы. В настоящей работе приведены результаты исследования сорбции катионов меди (II) и никеля (II) ионообменным волокном ФИБАН Х-1. Проведены калориметрические исследования тепловых эффектов взаимодействия волокна ФИБАН Х-1 с растворами нитратов меди (II) и никеля (II). Показано, что мощность, тепловой эффект и время процесса зависят от природы и концентрации ионов металлов в растворе. На основе экспериментальных данных рассчитана энтальпия процесса. Эндотермический эффект процесса объясняется энергетическими затратами, связанными с дегидратационными эффектами и изменением конформаций полимерных цепей волокна. Получены изотермы сорбции данных ионов. Установлено, что при всех исследуемых концентрациях ионы Ni^{2+} в данных условиях поглощаются ионообменным волокном лучше, чем катионы Cu^{2+}. Рассчитанные константы сорбции меди (II) и никеля (II) больше 1. Показано, что уравнение Ленгмюра описывает сорбционную изотерму лучше, чем уравнение Фрейндлиха. Для глубокой очистки сточной воды от ионов металлов предложено использовать волокнистый сорбент ФИБАН Х-1.

Ключевые слова: энтальпия, хемосорбционное волокно, калориметрический метод, сорбция, сточные воды, ионы меди (II) и никеля (II)

Use of ion-exchange fiber at the purification stage of wastewater of electroplating

Yurii S. Peregudov [1] inorganic_033@mail.ru
Anna V. Timkova [1] timkova.anna@mail.ru
Elena M. Gorbunova [1] lobanova8686@gmail.com
Svetlana E. Plotnicova [1] burkovasweta@yandex.ru

[1] Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. In the electroplating industry, large volumes of water are used, which are polluted at various stages in the process. Waste water containing transition metal ions is not only a dangerous source of environmental pollution, but also valuable waste. Taking into account the problems associated with the ecology and the rational use of natural resources, it is necessary to create low- and non-waste production, in particular, to develop new technological processes and appropriate equipment, to introduce water-circulation cycles. This paper presents the results of a study of the sorption of copper (II) and nickel (II) cations by the FIBAN X-1 ion exchange fiber. Calorimetric studies of the thermal effects of the interaction of FIBAN X-1 fiber with solutions of copper (II) and nickel (II) nitrates were carried out. It is shown that the power, thermal effect and time of the process depend on the nature and concentration of metal ions in the solution. Based on the experimental data, the enthalpy of the process was calculated. The endothermic effect of the process is explained by the energy costs associated with dehydration effects and changes in the conformation of the polymer fiber chains. Sorption isotherms of these ions were obtained. It has been established that at all concentrations studied, Ni2 + ions under these conditions are absorbed by ion exchange fibers better than Cu2 + cations. The calculated sorption constants for copper (II) and nickel (II) are greater than 1. It is shown that the Langmuir equation describes the sorption isotherm better than the Freundlich equation. For deep purification of waste water from metal ions, it was proposed to use the fibrous sorbent FIBAN X-1.

Keywords: enthalpy, chemisorption fiber, calorimetric method, sorption, wastewater, copper and nickel ions

Введение

Гальваническое производство является опасным источником загрязнения окружающей среды. В процессе нанесения гальванических покрытий огромное количество воды расходуется на приготовление электролитов, технологических растворов, а также на меж- и послеоперационную промывку деталей. При этом образуются сточные воды, загрязненные ионами тяжелых металлов – меди, никеля, хрома, железа и т. д.

В настоящее время для очистки сточных вод гальванического производства используются:

– механические методы очистки (отстаивание, фильтрование);

– химические методы очистки (нейтрализация, химическое осаждение, окисление);

– физико-химические методы очистки (коагуляция, флокуляция, мембранные методы очистки, ионный обмен, сорбция).

Для цитирования

Перегудов Ю.С., Тимкова А.В., Горбунова Е.М., Плотникова С.Е. Применение ионообменного волокна на стадии доочистки сточных вод гальванического производства //Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 330–336. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-330-336

For citation

Peregudov Yu.S., Timkova A.V., Gorbunova E.M., Plotnikova S.E. Use of ion-exchange fiber at the purification stage of wastewater of electroplating . *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 330–336. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-330-336

Суть очистки сточных вод гальванического производства от тяжелых металлов заключается в переводе растворенных ионов металлов в нерастворенные химические соединения с последующим отделением и обезвоживанием твердой фазы. Как правило, все имеющиеся виды растворов поступают в усреднитель, нейтрализуются и сбрасываются в канализацию [1].

Часто для очистки сточных вод гальванического производства используют процесс, состоящий из следующих ступеней: нейтрализация – выравнивание определенного значения уровня pH с помощью NaOH, $Ca(OH)_2$ для химического осаждения металлов; флокуляция – добавление органических флокулянтов для образования макрофлокул; осаждение – для отделения твердой фазы с последующим обезвоживанием шлама; заключительная доочистка – фильтрация, сорбция или ионный обмен. Для этих целей могут использоваться зернистые и волокнистые ионообменные материалы.

В связи с этим представляет интерес изучение сорбции ионов переходных металлов на хемосорбционных волокнах. Безотходная технология – это идеальная модель производства, которая в большинстве случаев в настоящее время реализуется не в полной мере, а лишь частично. В области гальванического производства необходимо разрабатывать и применять современные и эффективные методы водоочистки, позволяющие переходить к замкнутым процессам рециркуляции воды и извлечению металлов из сточных вод. Внедрение бессточных систем водоснабжения и реконструкция действующего производства способствует резкому сокращению расходов воды и уменьшению объема сточных вод.

Материалы и методы

Объектом исследования являлось хемосорбционное волокно ФИБАН Х-1 в Na-форме. Волокно данной марки разработано Институтом физико-органической химии Академии Наук Беларуси на основе полиакрилонитрильного волокна (таблица 1) [2]. Подготовку волокнистого ионообменника проводили по стандартным методикам [3].

Таблица 1.

Характеристика волокна ФИБАН Х-1

Table 1.

Characteristics of fiber FIBAN X–I

Функциональные группы Functional group	СОЕ, ммоль/г		Набухание в H^+–форме, г H_2O/г ионита Swelling in H^+ form, g H_2O/g of the ion exchanger
$–N(CH_2 COOH)_2$ – COOH	3,76	0,60	0,60
Рабочий интервал pH | pH range		Рабочий интервал температур | Operating temperature range	
5–12		0–80 °C	

Ионообменный материал ФИБАН Х-1 устойчив к воздействию концентрированных кислот и органических растворителей, характеризуется умеренным набуханием в воде и водных растворах. При переходе из водородной формы в натриевую набухание и емкость волокна увеличиваются. В определенных случаях возможна регенерация и повторное использование материала [4].

Сорбционную емкость волокна ФИБАН Х-1 по ионам меди и никеля определяли в статических условиях с применением магнитной мешалки для перемешивания раствора. Для этого навеску волокна 0,2 г заливали 50 $см^3$ раствора нитрата соответствующего металла с начальными концентрациями 2, 4, 6, 8, 10 ммоль/$дм^3$ и выдерживали до установления равновесия. Затем раствор отфильтровывали и определяли равновесную концентрацию катионов металлов.

Способность меди к комплексообразованию позволяет количественно определять содержание ионов меди в растворе различными фотометрическими методами [5]. Сущность используемой методики [6] заключается в измерении оптической плотности окрашенного раствора аммиаката меди, полученного в ходе реакции:

$$Cu^{2+} + 4NH_4OH \rightleftarrows [Cu(NH_3)_4]^{2+} + 4H_2O$$

Измерение оптической плотности растворов проводили на колориметре фотоэлектрическом концентрационном КФК-2МП при длине волны 590 нм в 10 мм кювете.

Содержание ионов Ni^{2+} в растворе определяли методом комплексонометрического титрования. Для этого в колбу для титрования вносили 5 $см^3$ пробы, 1 $см^3$ раствора аммиака с массовой долей 25% и столько мурексида, чтобы раствор окрасился в интенсивно желтый цвет. Титровали раствором ЭДТА до перехода желтого окрашивания в фиолетовое [7].

Сорбционную емкость (A, ммоль/г) в условиях установившегося в системе равновесия определяли по формуле

$$A = \frac{(C - C_p)V}{m},$$

где C, C_p – исходная и равновесная концентрация ионов исследуемых металлов в растворе соответственно, ммоль/ дм^3; V – объем раствора, дм^3; m – масса сорбента, г.

Полученные данные по сорбции ионов меди и никеля из растворов с разными концентрациями использовали для построения изотерм сорбции.

Калориметрические исследования процессов взаимодействия волокна с растворами солей исследуемых металлов проводились на микрокалориметре МИД-200 при 298 K. Для эксперимента использовали растворы нитратов меди (II) и никеля (II) с концентрацией от 0,001 до 0,01 моль/дм^3.

Методика эксперимента заключалась в следующем. В калориметрический стакан помещали 50 см^3 раствора соли, а в лодочку, плавающую на поверхности, 0,2 г волокна. После термостатирования в течение 24 ч волокно и раствор соли смешивали и регистрировали тепловые эффекты их взаимодействия. Погрешность калориметрических измерений не превышала 2% [8].

Результаты и обсуждение

По результатам калориметрических измерений получены термокинетические кривые. Данные кривые представляют собой энергию процесса как функцию от времени $W = f(\tau)$. На термокинетических кривых имеется один ярко выраженный максимум.

На рисунке 1 представлена термокинетическая кривая на примере взаимодействия волокна ФИБАН Х-1 с раствором нитрата никеля (II). Все термокинетические кривые близки по форме, но различаются по высоте пика и длительности.

При всех исследуемых концентрациях растворов $Cu(NO_3)_2$ и $Ni(NO_3)_2$ процесс сопровождается поглощением тепла. С повышением концентрации возрастает термоэффект и время установления равновесия. В момент достижения наибольшего значения эндоэффекта, в реакцию с ионами вступает максимальное число функциональных групп. Из термокинетических кривых были рассчитаны энтальпии взаимодействия (ΔH) волокна с катионами металлов (рисунок 2). Для солевых растворов с концентрацией 0,01–0,03 моль/дм^3 величины ΔH для ионов Cu^{2+} и Ni^{2+} близки по значениям. С концентрацией 0,04 моль/дм^3 наблюдается превышение энтальпии взаимодействия Ni^{2+} с волокном по сравнению с Cu^{2+}.

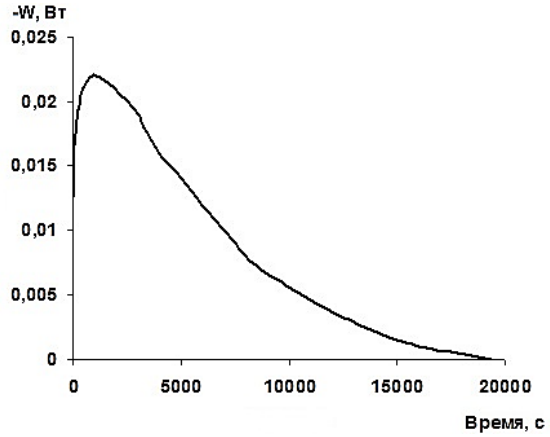


Рисунок 1. Термокинетическая кривая на примере взаимодействия волокна ФИБАН Х-1 с раствором нитрата никеля (II)

Figure1. Thermokinetic curve on the example of the interaction of fiber FIBAN X–I with a solution Nickel (II) nitrate

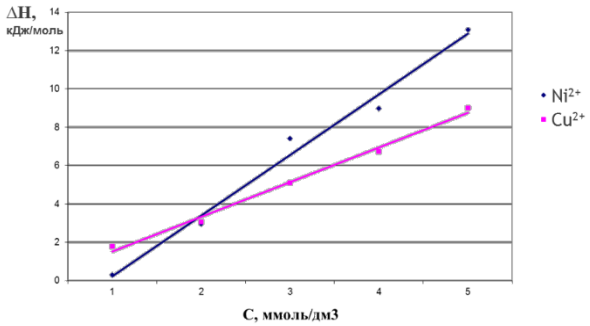


Рисунок 2. Энтальпия взаимодействия волокна ФИБАН Х-1 с растворами нитратов меди (II) и никеля (II)

Figure2. Enthalpies of the interaction fiber FIBAN X–I with solutions of copper nitrate (II) and nickel (II)

Процесс сорбции ионов металлов волокном ФИБАН Х-1 во многом зависит от природы насыщающих волокно ионов. Некоторые характеристики исследованных ионов представлены в таблице 2 [9].

Таблица 2.

Ионный радиус r (по Гольдшмидту), электронное строение иона, энтальпия и энтропия гидратации, изменение энтропии воды при гидратации ионов

Table 2.

Ionic radius r (according to Goldschmidt), electronic structure of the ion, enthalpy and entropy of hydration, change in the entropy of water during the hydration of ions

Ион Ion	Строение Structure	r, нм	$-\Delta H_{гидр}$, кДж/моль	$-\Delta S_{гидр}$, Дж/(моль К)	$-\Delta S_{II}$, Дж/(моль К)
Cu^{2+}	…$3d^9$	0,079	2975,7	433,5	205,0
Ni^{2+}	…$3d^8$	0,078	2964,8	443,5	225,1

Процесс взаимодействия волокна с ионами металлов складывается из параллельно идущих стадий, каждая из которых вносит определенный вклад в энтальпию процесса в целом. Необходимо учитывать следующие основные вклады [10]:

$$\Delta H = \Delta H_{\text{сорб}} + \Delta H_{\text{д.и.}} + \\ + \Delta H_{\text{д.ф.}} + \Delta H_{\text{H}_2\text{O}} + \Delta H_{\text{деф.}},$$

где $\Delta H_{\text{сорб}}$ – сорбция ионов волокном; $\Delta H_{\text{д.и.}}$ – дегидратация ионов; $\Delta H_{\text{д.ф.}}$ – дегидратация функциональных групп волокна; ΔH_{H2O} – изменение структуры воды, связанное с природой иона; $\Delta H_{\text{деф}}$ – деформация полимерных цепей волокна для образования сорбционных центров.

Исходя из полученных данных, можно предположить, что экзотермический эффект образования связей между волокном и указанными ионами перекрывается энергетическими затратами, связанными с дегидратационными эффектами и изменением конформаций полимерных цепей.

На рисунке 3 представлены изотермы сорбции ионов меди и никеля Na-формой ионообменного волокна ФИБАН Х-1.

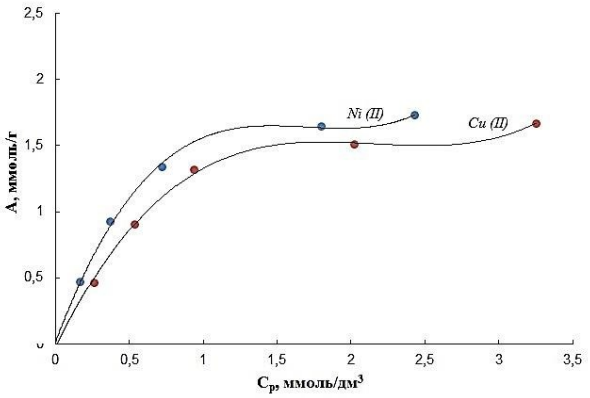


Рисунок 3. Изотермы сорбции ионов Ni^{2+} и Cu^{2+} хемосорбционным волокном ФИБАН Х-1

Figure 3. Sorption isotherms of Ni^{2+} and Cu^{2+} ions with chemisorption fiber FIBAN X–I

Как видно из рисунка 3, повышение концентрации металлов в растворе приводит к увеличению сорбционной емкости волокна. Также стоит отметить, что при всех исследуемых концентрациях ионы Ni^{2+} в данных условиях поглощаются ионообменным волокном лучше, чем катионы Cu^{2+}.

Для обработки полученных изотерм были применены модели Ленгмюра и Фрейндлиха. Изотермы сорбции в линейной форме показаны на рисунках 4 и 5.

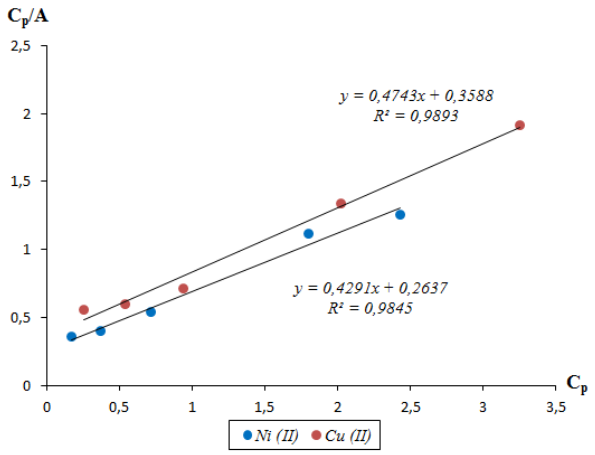


Рисунок 4. Изотермы сорбции ионов меди (II) и никеля (II) в линейной форме по Ленгмюру

Figure 4. Sorption isotherms of copper (II) and nickel (II) ions in linear form according to Langmuir

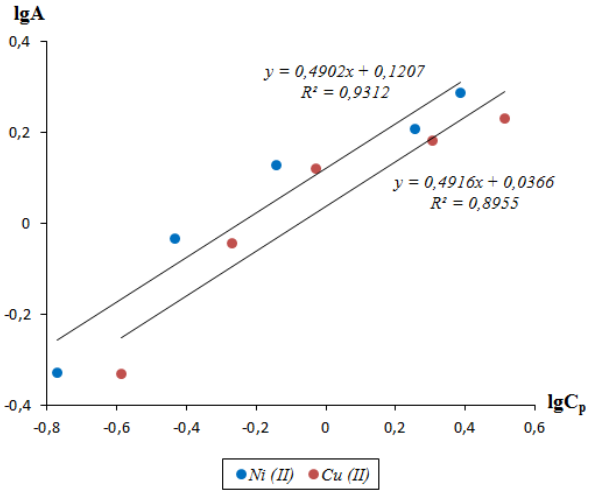


Рисунок 5. Изотермы сорбции ионов меди (II) и никеля (II) в линейной форме по Фрейндлиху

Figure5. Sorption isotherms of copper (II) and nickel (II) ions in Freundlich linear form

Параметры обработки изотермы сорбции по модели Ленгмюра и Фрейндлиха приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Характеристики сорбции ионов меди и никеля

Table 3.

Sorption characteristics copper and nickel ions

Катион металла Metal cation	Параметры модели Ленгмюра Langmuir model parameters			Параметры модели Фрейндлиха Freundlich model Parameters		
	A_∞, ммоль/г	K, дм^3/ммоль	R^2	k	1/n	R^2
Cu^{2+}	2,108	1,322	0,9893	1,0879	0,4916	0,8955
Ni^{2+}	2,330	1,627	0,9845	1,3204	0,4902	0,9312

Как видно из таблицы 3, уравнение Ленгмюра описывает сорбционную изотерму лучше, чем уравнение Фрейндлиха. Из этого следует, что все сорбированные частицы взаимодействуют только с центрами сорбции и не взаимодействуют друг с другом, при этом на поверхности сорбента образуется мономолекулярный сорбционный слой. Константы сорбции ионов меди (II) и никеля (II) больше 1, следовательно, величина энергии Гиббса будет больше нуля. Это свидетельствует о самопроизвольности протекания процесса. Величина предельной сорбции A_∞ катионов меди (II) и никеля (II) составила 2,108 и 2,330 ммоль/г соответственно. Результаты проведенных исследований и расчетов показывают, что ионообменное волокно может быть использовано для стадии доочистки сточных вод гальванического производства с концентрацией ионов Cu^{2+} и Ni^{2+} от 0,001 до 0,01 моль/дм^3. Нами предложена следующая технологическая схема очистки гальванических сточных вод с применением ионообменного волокна ФИБАН Х-1 (рисунок 6).

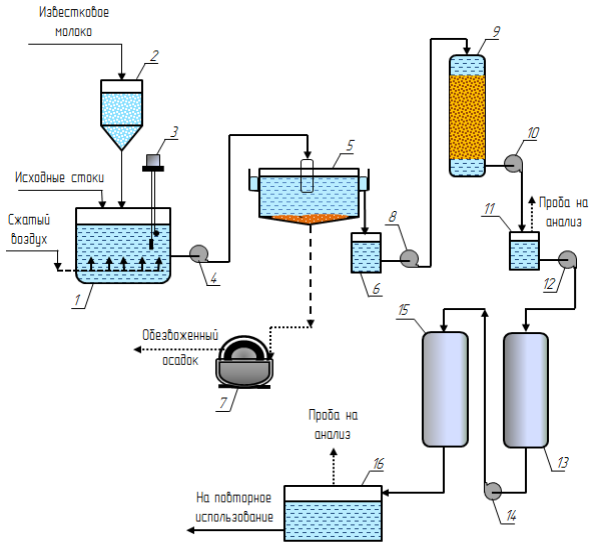


Рисунок 6. Технологическая схема очистки медь- и никельсодержащих сточных вод: 1 – реактор; 2 – дозатор щелочного агента; 3 – датчик pH-метра; 4, 8, 10, 12, 14 – насосы; 5 – отстойник; 6 – приемная емкость; 7 – узел обезвоживания осадка; 9 – механический фильтр; 11 – сборник осветленных стоков; 13, 15 – ионообменные фильтры; 16 – сборник очищенной воды

Figure 6. Technological scheme of cleaning copper and nickel-containing wastewater: 1 – reactor; 2 – dispenser alkali agent; 3 – pH meter; 4, 8, 10, 12, 14 – pumps; 5 – sump; 6 – receiving capacity; 7 – sludge dewatering unit; 9 – mechanical filter; 11 – collection of clarified effluents; 13, 15 – ion exchange filters; 16 – collection of purified water

В состав предлагаемой технологической схемы очистки стоков входят узлы:

– реагентной обработки;
– тонкослойного отстаивания стоков;
– обезвоживания осадка;
– глубокого осветления на механических фильтрах:
– доочистки сточных вод (ионообменные фильтры).

В соответствии со схемой (рисунок 6) сточные воды из промывных ванн поступают в реактор 1, туда же дозирующим устройством 2 подается щелочной реагент. Наиболее дешевым и доступным реагентом является гидроксид кальция, который применяют в виде 5%-ого раствора известкового молока. При достижении pH = 9–10 происходит осаждение ионов Cu^{2+} и Ni^{2+} в виде малорастворимых осадков основных карбонатов по реакциям [2]:

$$2Ni^{2+} + CO_3^{2-} + 2OH^- \rightarrow (NiOH)_2 CO_3 \downarrow$$

$$2Cu^{2+} + CO_3^{2-} + 2OH^- \rightarrow (CuOH)_2 CO_3 \downarrow$$

Значение pH контролируют с помощью погружного датчика 3. Время контакта сточных вод с реагентом в камере реакции не менее 30 мин.

Для выделения из сточных вод нерастворимых соединений водную суспензию направляют в отстойник 5, в котором она выдерживается в течение 2 ч. Осветленная вода из отстойника накапливается в приемной емкости 6, а образовавшийся осадок поступает на узел обезвоживания 7 и затем на утилизацию.

Для более глубокого осветления сточные воды насосом подаются на механический фильтр 9, где происходит их доочистка от остаточного количества взвесей. Образовавшийся фильтрат поступает в сборник осветленных стоков 11.

Для обеспечения глубокой очистки воды и обессоливания до требований ГОСТ 9.317–90 предложено использовать фильтры тонкой очистки (13, 15), заполненные хелатным сорбентом ФИБАН Х-1.

Предлагаемый ионообменный материал работает в области малых концентраций ионов токсичных металлов и позволяет обеспечить замкнутый водооборот с использованием воды повторно в производственном цикле.

Для достижения наиболее высокой степени очистки стоки пропускают последовательно через два ионообменных фильтра с загрузкой из волокнистого хемосорбента. Остаточная концентрация Cu^{2+} и Ni^{2+} составляет около 0,1 мг/л, что соответствует требованиям ГОСТ 9.317–90. Очищенная вода может использоваться повторно для приготовления электролитов, обезжиривающих и травильных растворов и промывку деталей, а также на охлаждение ванн и выпрямителей тока.

По сравнению с зернистыми ионитами волокнистые ионообменные материалы обладают высокой скоростью ионообменных и сорбционных процессов. Фильтрующие слои волокна ФИБАН Х-1 обеспечивают в процессах очистки сточных вод высокие скорости потоков, на порядок превышающие аналогичные зернистые иониты, одновременно обладая более высокой сорбционной активностью по ионам переходных металлов. Сопротивление фильтрующего слоя ФИБАН Х-1 зависит от плотности его упаковки, которая задается текстильной формой или дополнительным принудительным уплотнением. Для процессов очистки воды оптимальной является плотность слоя 0,16–0,20 кг/дм^3, а толщина слоя 3–6 см [2].

Наиболее совершенные конструкции фильтров с загрузкой из волокнистых материалов представлены в работе [11]. Благодаря возможности уменьшения плотности упаковки волокнистого материала данные конструкции позволяют осуществлять регенерацию отработанного волокна без извлечения его из фильтра, что, в свою очередь, сократит затраты на эксплуатацию фильтров.

Заключение

Полученные в работе значения констант сорбции и величин предельной сорбции катионов меди (II) и никеля (II) показали, что волокнистый ионообменник ФИБАН Х-1 может быть использован на стадии доочистки сточных вод гальванического производства. Совершенствование стадии доочистки сточных вод гальванического производства за счет использования ионообменного материала ФИБАН Х-1 обеспечит экономное и рациональное использование воды.

ЛИТЕРАТУРА

1 Жданова А.В., Илларионов С.А. Очистка сточных вод гальванического производства от загрязнений тяжелыми металлами // Вестник Пермского университета. Серия: Химия. 2012. № 1. С. 54–60.

2 Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси. ФИБАН-1. URL: http://ifoch.by/research/fiban/X1_1.html

3 Полянский Н.Г., Горбунов Г.В., Полянская Н.Я. Методы исследования ионитов. М.: Химия, 1976. 280 с.

4 Солдатов В.С., Зеленковский В.М., Сосинович З.И., Мосунова Н.В. и др. Селективное выделение меди и цинка из модельных растворов шахтных вод волокнистыми ионитами // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия химических наук. 2011. № 2. С. 41–45.

5 Кулиев К.А., Плотникова С.Е., Горбунова Е.М., Таранова А.Н. Смешаннолигандные комплексы меди (II) с дитиолфенолами и гетероциклическими диаминами // Вестник ВГУИТ. 2017. № 1. С. 248–256.

6 Дехтярь Т.Ф., Бочарова Е.С. Определение меди фотометрическим методом // Молодежный научный вестник. 2017. № 1 (13). С. 81–86.

7 Булатов А.В., Зеймаль А.Е., Николаева Д.Н., Никоноров В.В. и др. Методические указания к практикуму «Химические методы анализа»: учебное пособие. СПб.: ВВМ, 2010. 54 с.

8 Астапов А.В., Перегудов Ю.С., Копылова В.Д. Попова К.А. Энтальпии взаимодействия сильноосновных анионитов с ионами аминокислот // Журнал физической химии. 2009. Т. 83. № 6. С. 1016–1020.

9 Крестов Г.А. Термодинамика ионных процессов в растворах. Л.: Химия, 1984. 272 с.

10 Астапов А.В., Перегудов Ю.С., Нифталиев С.И. Сорбция катионов никеля (II) хелатным волокнистым сорбентом ФИБАН Х-1 // Журнал физической химии. 2017. № 8. С. 1397–1402.

11 Петров Ю.П., Котюков А.Б. Совершенствование конструкции фильтров с загрузкой из углеродных волокнистых сорбентов (УВС), активированной углеродной ткани (АУТ) и волокнистого ионообменного материала ВИОН // Вестник Пермского университета. Геология. 2013. № 2 (19). С. 94–101.

REFERENCES

1 Zhdanova A.V., Illarionov S.A. Wastewater treatment of electroplating from heavy metal contamination. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Himiya* [Perm University Bulletin. Series: Chemistry]. 2012. no. 1. pp. 54–60. (in Russian).

2 Institut fiziko-organicheskoj himii Nacional'noj akademii nauk Belarusi. FIBAN-1 [Institute of Physical and Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus. FIBAN-1]. Available at: http://ifoch.by/research/fiban/XI_1.html (in Russian).

3 Polyanskiy N.G., Gorbunov G.V., Polyanskaya N.I. Metody issledovaniya ionitov [Research methods ion-exchange resins]. Moscow, Chemistry, 1976. 280 p. (in Russian).

4 Soldatov V.S., Zelenkovskij V.M., Sosinovich Z.I., Mosunova N.V. et al. Selective isolation of copper and zinc from model solutions of mine water by fibrous ion exchangers. *Izvestiya Nacional'noj akademii nauk Belarusi. Seriya himicheskih nauk* [News of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Sciences Series]. 2011. no. 2. pp. 41–45. (in Russian).

5 Kuliev K.A., Plotnikova S.E., Gorbunova E.M., Taranova A.N. Mixed-ligand complexes of copper (II) with ditiolfenols and heterocyclic diamines. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2017. no. 1. pp. 248–256. (in Russian).

6 Dekhtyar T.F., Bocharova E.S. Determination of copper by photometric method. *Molodezhnyj nauchnyj vestnik* [Youth scientific Bulletin]. 2017. no. 1 (13). pp. 81–86. (in Russian).

7 Bulatov A.V., Zejmal' A.E., Nikolaeva D.N., Nikonorov V.V. et al. Metodicheskie ukazaniya k praktikumu "Himicheskie metody analiza" [Guidelines for the workshop "Chemical methods of analysis"]. Saint Petersburg, WWM, 2010. 54 p. (in Russian).

8 Astapov A.V., Peregudov Yu.S., Kopylova V.D. Popova K.A. The enthalpy of interaction of a strongly basic anion exchange resin with ions of amino acids. *Zhurnal fizicheskoj himii* [Journal of Physical Chemistry]. 2009. vol. 83. no. 6. pp. 1016–1020. (in Russian).

9 Krestov G.A. Termodinamika ionnyh processov v rastvorah [Thermodynamics of ionic processes in solutions]. Leningrad, Chemistry, 1984. 272 p. (in Russian).

10 Astapov A.V., Peregudov Yu. S., Niftaliev S.I. Sorption of nickel (II) cations with chelate fiber sorbent FIBAN X–I. *Zhurnal fizicheskoj himii* [Journal of Physical Chemistry] 2017. no. 8. pp. 1397–1402. (in Russian).

11 Petrov Yu. P., Kotyukov A.B. Improving the design of filters with loading of carbon fiber sorbents (UVS), activated carbon cloth (OUT) and fibrous ion exchange material VION. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya* [Perm University Press. Geology]. 2013. no. 2 (19). pp. 94–101. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Юрий С. Перегудов к.х.н., доцент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, inorganic_033@mail.ru

Анна В. Тимкова магистрант, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, timkova.anna@mail.ru

Елена М. Горбунова к.х.н., доцент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394066, Россия , lobanova8686@gmail.com

Светлана Е. Плотникова к.х.н., доцент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394066, Россия, burkovasweta@yandex.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Юрий С. Перегудов предложил методику проведения эксперимента

Анна В. Тимкова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Елена М. Горбунова написала рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Светлана Е. Плотникова консультация в ходе исследования

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 04.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 30.10.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Yurii S. Peregudov Cand. Sci. (Chem.), associate professor, department of inorganic chemistry and chemical technology, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia,inorganic_033@mail.ru

Anna V. Timkova master student, department of inorganic chemistry and chemical technology, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, timkova.anna@mail.ru

Elena M. Gorbunova Cand. Sci. (Chem.), associate professor, department of inorganic chemistry and chemical technology, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia,, lobanova8686@gmail.com

Svetlana E. Plotnicova Cand. Sci. (Chem.), associate professor, department of inorganic chemistry and chemical technology, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, burkovasweta@yandex.ru

CONTRIBUTION

Yurii S. Peregudov proposed a scheme of the experiment

Anna V. Timkova review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Elena M. Gorbunova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Svetlana E. Plotnicova consultation during the study

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.4.2018

ACCEPTED 10.30.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 621.396.6.

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-337-343

Аспекты направленного синтеза углеродных нанотрубок для создания иерархических радиопоглощающих композитных материалов

Александр В. Щегольков [1] Energynano@yandex.ru
Алексей В. Щегольков [1] alexxx5000@mail.ru
Иван Д. Парфимович [2] parfimovich@bsu.by
Елена А. Буракова [1] elenburakova@yandex.ru.
Александр В. Кобелев [1] kobelev77@rambler.ru
Татьяна П. Дьячкова [1] mashtatpetr@mail.ru

[1] Тамбовский государственный технический университет улица Советская, 106, г. Тамбов, 392000, Россия
[2] Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко БГУ», ул. Курчатова 7, г. Минск, 220045, Беларусь

Аннотация. Проведённый информационный обзор показал, что существуют различные типы радиопоглощающих материалов. Расширение рабочего диапазона волн для радиопоглощающих композитов возможно за счет совместного применения проводящих наполнителей, характеризующихся различными магнитными и диэлектрическими характеристиками и величиной электропроводности. Как правило, рост эффективности радиопоглощения материалов связан с увеличением концентрации в них металлических наполнителей, в результате чего пропорционально увеличиваются массогабаритные параметры. Избежать этого позволяет применение углеродных наноматериалов, которые обладают способностью создавать самоорганизующиеся иерархические структуры в объеме композита. Варьирование состава каталитических систем CVD-процесса позволяет вести направленный синтез углеродных наноматериалов с необходимыми морфологическими характеристиками. Для оценки влияния состава катализатора на морфологию и структуру синтезируемых УНТ были выбраны 3 состава Ni/MgO катализатора с различным содержанием активного компонента (Ni). Эффективность полученных катализаторов определяли по удельному выходу УНТ (гС/гkat). Морфологию и структуру катализаторов и синтезированных УНТ изучали посредством сканирующей электронной микроскопии. Применение катализатора на основе никеля обеспечивает материалу магнитные свойства. Диаметр углеродных нитевидных образований, синтезированных на Ni/0,16MgO и Ni/0,3MgO катализаторах, составляет ~30÷60 нм. Система Ni/0,5MgO характеризуется низкой продуктивностью по одномерным наноструктурам, образец после CVD-процесса содержит большое количество неструктурированных форм углерода и неизмененного катализатора. Структурное разнообразие в углеродных наноматериалов позволяет получить на их основе эффективную иерархическую структуру в радиопоглощающем композите.

Ключевые слова: радиопоглощающие материалы, углеродные нанотрубки, электромагнитное излучение, синтез.

Aspects of the directional synthesis of carbon nanotubes to create hierarchical radio-absorbing composite materials

Alexandr V. Shchegolkov [1] Energynano@yandex.ru
Aleksei V. Shchegolkov [1] alexxx5000@mail.ru
Ivan D. Parafimovich [2] parfimovich@bsu.by
Elena A. Burakova [1] elenburakova@yandex.ru.
Alexander V. Kobelev [1] kobelev77@rambler.ru
Tatyana P. Dyachkova [1] mashtatpetr@mail.ru

[1] Tambov State Technical University Sovetskaya street, 106, Tambov, 392000, Russia
[2] Research Institution “Institute of Applied Physical Problems named after A.N. Sevchenko BSU”, st. Kurchatov 7, Minsk, 220045, Belarus

Abstract. The conducted information review showed that there are various types of radio absorbing materials. The expansion of the working wavelength range for radio-absorbing composites is possible due to the combined use of conductive fillers, characterized by different magnetic and dielectric characteristics and the value of electrical conductivity. As a rule, the increase in the efficiency of radio absorption of materials is associated with an increase in the concentration of metal fillers in them, as a result of which the weight and size parameters increase proportionally. To avoid this, the use of carbon nanomaterials, which have the ability to create self-

Для цитирования

Щегольков А.В., Щегольков А.В., Парфимович И.Д., Буракова Е.А., Кобелев А.В., Дьячкова Т.П. Аспекты направленного синтеза углеродных нанотрубок для создания иерархических радиопоглощающих композитных материалов // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 337–343. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-337-343

For citation

Shchegolkov A.V., Shchegolkov A.V., Parfimovich I.D., Burakova E.A., Kobelev A.V., Dyachkova T.P. Aspects of the directional synthesis of carbon nanotubes to create hierarchical radio-absorbing composite materials. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 337–343. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-337-343

organizing hierarchical structures in the bulk of the composite, allows. Varying the composition of the catalytic systems of the CVD process allows directional synthesis of carbon nanomaterials with the necessary morphological characteristics. To assess the effect of the composition of the catalyst on the morphology and structure of the synthesized CNTs, 3 Ni / MgO catalyst compositions with different contents of the active component (Ni) were selected. The effectiveness of the obtained catalysts was determined by the specific yield of CNTs (gC/gkat). The morphology and structure of the catalysts and the synthesized CNTs were studied by means of scanning by transmission electron microscopy. The use of a nickel-based catalyst provides the material with magnetic properties. The diameter of carbon filiform formations synthesized on Ni/0.16MgO and Ni / 0.3MgO catalysts is ~ 30 ÷ 60 nm. The Ni/0.5MgO system is characterized by low productivity in one-dimensional nanostructures; the sample after the CVD process contains a large number of unstructured forms of carbon and an unchanged catalyst. Structural diversity in carbon nanomaterials allows to obtain on their basis an effective hierarchical structure in the radio absorbing composite..

Keywords: radar absorbing materials, carbon nanotubes, electromagnetic radiation, synthesis.

Введение

Создание нового поколения радиопоглощающих материалов является важным направлением развития современной техники. Радиопоглощающие материалы находят применение в авиакосмической, электротехнической и военной сфере. Диапазон частот приборов, которые требуют использования радиопоглощающих материалов, постоянно увеличивается [1–4]. В связи с этим растут требования к таким материалам по диапазону рабочих частот при сохранении массогабаритных параметров.

Экспериментальные и теоретические исследования последних лет показывают, что улучшение характеристик радиопоглощающих покрытий может быть достигнуто путем создания новых композиционных материалов с использованием наночастиц. Так, в работе Д.О. Смирнова [1] показано, что введение в состав композиционного материала углеродных нанотрубок (УНТ) приводит к увеличению значения поглощения на 15 дБ или приблизительно в 30 раз (при добавке УНТ в количестве 1% масс.). При этом также наблюдается увеличение действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости полученного композита и тангенса угла диэлектрических потерь.

В последние несколько лет большое внимание уделяют функциональным материалам с иерархической архитектурой, т. к. именно многоуровневая организация структуры материала позволяет значительно улучшить эксплуатационные характеристики [2]. Иерархические композиты в зависимости от своей природы могут отражать или пропускать ЭМИ. Эта способность может быть использована для создания экранирующих и поглощающих ЭМИ (в частности, радиоволны) устройств. С целью получения слабоотражающих поглотителей могут использоваться материалы с низкими значениями диэлектрической и магнитной проницаемости. Это свойство используется для согласования импеданса свободного пространства и внешнего слоя поглотителя [5]. Авторы работ [6, 7] установили, что материал, обеспечивающий наименьший коэффициент отражения ($К_{отр}$) электромагнитной волны, должен обладать одновременно магнитными и диэлектрическими характеристиками. Для того, чтобы выполнялось равенство $К_{отр} = 0$, необходимым условием является равенство $\epsilon' = \mu'$, где ϵ' и μ' – действительные части диэлектрической и магнитной проницаемости материала [6, 7].

Таким образом, с целью получения радиопоглощающего материала, обладающего одновременно магнитными и диэлектрическими свойствами, следует использовать технологию получения иерархического композиционного материала. Из [6] следует, что наиболее эффективными для работы при заданной частоте являются частицы наполнителя размером от $\lambda/4$ до $\lambda/2$.

При этом толщина материала также играет важное значение для обеспечения эффективного радиопоглощения. В [7] показано, что эффективными радиопоглощающими свойствами при прочих равных условиях будет обладать материал толщиной порядка $\lambda/20$, где λ – длина волны поглощаемого излучения.

В настоящее время существуют иерархические (многослойные) радиопоглощающие композиционные материалы на основе полимерной матрицы с хорошей диэлектрической проницаемостью, но имеющие узкий диапазон рабочих частот. Этот недостаток обусловлен особенностями наполнителя композита. Каждый наполнитель или модификатор имеет свою резонансную частоту, при которой радиопоглощение будет наиболее эффективным. Введение большого количества наполнителей для расширения рабочего диапазона нецелесообразно из-за удорожания полученного композита. Для создания нового типа композиционного материала с уменьшенными массогабаритными параметрами в качестве наполнителя можно применять углеродные наноструктурные материалы (фуллерен, нанотрубки, графен и др.), что частично подтверждается в [1]. Разработка

и создание нанокомпозитов в настоящее время является одним из актуальных направлений научных и прикладных исследований. Благодаря модифицированию можно создать материалы на основе полимерных матриц, обладающие устойчивостью к механическим воздействиям [8], эрозионному износу [9], а при введении углеродных наноструктур – высокой электропроводностью [10, 11].

При этом известно, что углеродные нанотрубки характеризуются большим многообразием морфологических и геометрических параметров, могут иметь разное количество слоев, отличающихся по форме (цилиндрические и конические) и типу проводимости (металлическая, полупроводниковая). В зависимости от условий получения УНТ могут быть пригодными или непригодными для использования в составе поглощающих ЭМИ композитов, также различной может быть эффективность.

Цель работы – направленный синтез углеродных нанотрубок для модификации композиционных материалов с радиопоглощающими свойствами на основе полимерных матриц и характеризация их свойств.

Материалы и методы

Синтез УНТ осуществлялся на Ni/MgO каталитической системе, полученной методом термического разложения. Исходные компоненты ($Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ и $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, аминоуксусная кислота квалификации «хч») растворяли в воде при 50–60 °С. Полученный предкатализатор подвергали термической обработке в муфельной печи «СНОЛ» в течение 30 мин при 500 °С. CVD-синтез УНТ осуществлялся в полупромышленном реакторе периодического действия в течение 40 мин при 650 °С. В качестве углеродсодержащего сырья использовали пропан-бутановую смесь.

Для оценки влияния состава катализатора на морфологию и структуру синтезируемых УНТ были выбраны 3 состава Ni/MgO катализатора с различным содержанием активного компонента (Ni). Эффективность полученных катализаторов определяли по удельному выходу УНТ (гС/гkat). Морфологию и структуру катализаторов и синтезированных УНТ изучали посредством сканирующей просвечивающей электронной микроскопии (просвечивающий электронный микроскоп Hitachi H-800).

Спектры комбинационного рассеяния (КР) образцов получены на рамановском микроскопе DXR Raman Microscope (Thermo Scientific) при длине волны возбуждающего лазера 532 нм.

В качестве полимерной матрицы для получения композита с иерархической структурой использован полиуретан (двухкомпонентный полиуретановый компаунд Силагерм (ТУ 2513-006-01296014-2015). Методика введения УНТ в полиуретан включала следующие стадии:

1) получение смеси УНТ, синтезированных на каталитических системах разного состава в равных пропорциях. Массы УНТ, добавляемых в полиуретан, рассчитывались по формуле

$$\text{МП-УНТ} = \frac{(\text{МП} \cdot \text{СУНТ})}{(100 - \text{СУНТ})},$$

где МП-УНТ – масса УНТ; МП – масса чистого полиуретанового образца (компонент А + компонент Б); СУНТ – требуемая концентрация УНТ в мас.%;

2) добавление навески УНТ в компонент А небольшими порциями при постоянном перемешивании в течение 5 мин;

3) после диспергирования УНТ к компоненту А добавлялся компонент Б так, чтобы соотношение объемов компонента А (без учета УНТ) и компонента Б составляло ≈ 1/1; затем композиция перемешивалась в течение 10 мин;

4) при застывании полиуретанового композита на него воздействовали магнитным полем от неодимовых магнитов с магнитной индукцией 2000 мТл в течение 1 мин.

5) сополимеризация нанокомпозита в вакуумном шкафу при температуре 70 °С в течение 5 ч.

Для определения эффектов взаимодействия электромагнитного излучения СВЧ-диапазона с композитными материалами (прохождение, отражение, поглощение ЭМИ) использовался скалярный анализатор цепей, построенный на основе генератора качающейся частоты, прямоугольного волноводного измерительного тракта, блока анализатора и системы обработки сигналов. Подробное описание установки можно найти в работе [12]. Измерения проводились в четырех диапазонах частот: 8–12; 12–18; 18–26 и 26–40 ГГц. Исследуемые образцы композитов вырезались в форме параллелепипеда с размерами (в мм) 23 × 10 × 2; 16 × 8 × 2; 11 × 5,5 × 2; 7,2 × 3,4 × 2. Размер исследуемых композитных материалов жестко связан с размерами канала волновода, который определяет частотный диапазон измерений. В качестве выходных данных выступали S-параметры пропускания S21 и отражения S11. Коэффициенты прохождения, отражения и поглощения рассчитывались по формулам:

$$K_{\text{прох}} = (S21)\,2,$$

$$K_{\text{отр}} = (S11)\,2,$$

$$K_{\text{погл}} = 1 - (S21)\,2 - (S11)\,2.$$

Исследование распределения температурного поля модифицированных полиуретановых композитов проводилось с помощью тепловизора Flir 9. Обработка тепловизионных снимков проводилась с помощью программы SmartView 3.14.

Результаты и обсуждение

Для синтеза УНТ были получены три Ni/MgO каталитические системы, отличающиеся содержанием активного компонента: $Ni/_{0,16}$ MgO; $Ni/_{0,3}$ MgO; $Ni/_{0,5}$ MgO.

Ni/MgO-катализаторы, содержащие более 50% активного компонента, имеют кораллобразную структуру (рисунок 1, *а*), которая не сохраняется при уменьшении доли Ni (рисунок 1, *б*).

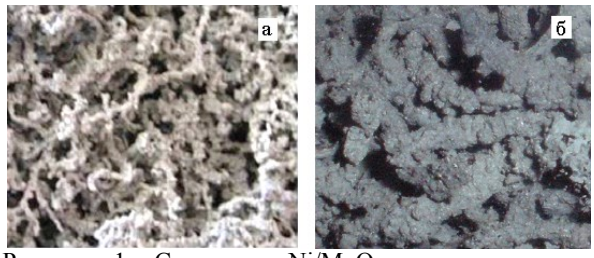
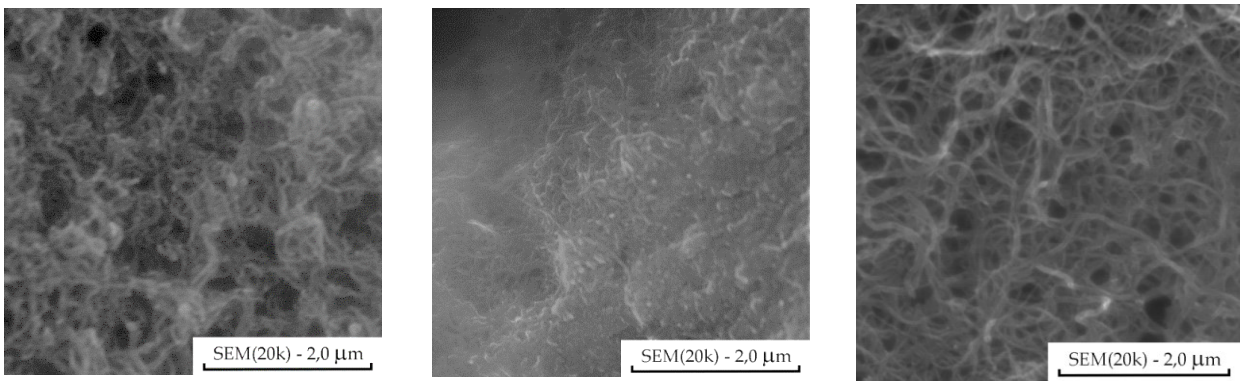


Рисунок 1. Структура Ni/MgO катализатора при содержании активного компонента: *а* – более 50%; *б* – менее 50%

Figure 1. Structure Or/MgO Catalyst in the content of the active component: *a* – More than 50%; *б* – Less than 50%

Изображения углеродных наноструктур, синтезированных на данных катализаторах, представлены на рисунке 2.

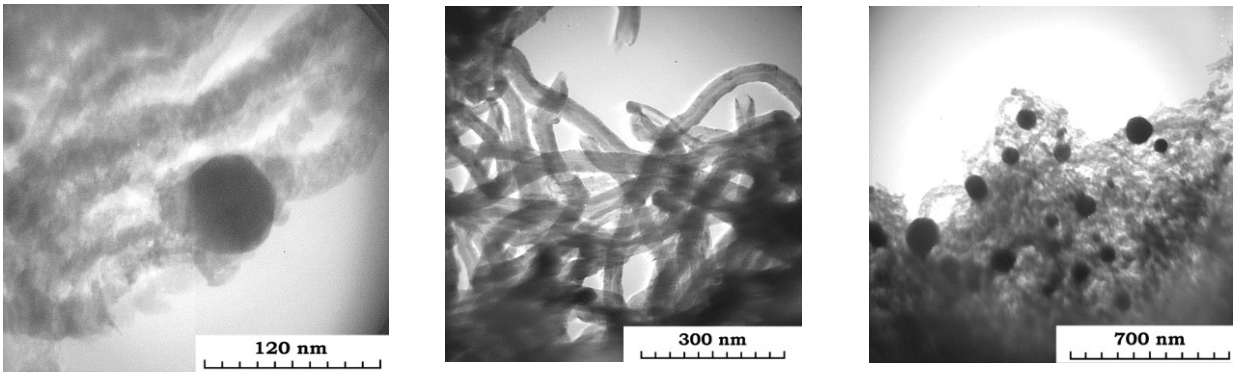


a *b* *c*

Рисунок 2. СЭМ-изображения углеродных наноструктур, синтезированных на катализаторе: *a* – $Ni/_{0,3}$ MgO; *b* – $Ni/_{0,5}$ MgO; *c* – $Ni/_{0,16}$ MgO

Figure 2. Sam-Images of carbon nanostructures synthesized on the catalyst: *a* – $Or/_{0,3}$ MgO; *b* – $Or/_{0,5}$ MgO; *c* – $Or/_{0,16}$ MgO

Все синтезированные образцы состоят, главным образом, из нитевидных образований (нанотрубок). Наиболее четкую и упорядоченную структуру имеют материалы, синтезированные на $Ni/_{0,3}$ MgO и $Ni/_{0,16}$ MgO катализаторах. Диаметр углеродных нитевидных образований, синтезированных на $Ni/_{0,16}$ MgO и $Ni/_{0,3}$ MgO катализаторах, составляет ~30÷60 нм. В образце, полученном на $Ni/_{0,5}$ MgO каталитической системе, помимо нанотрубок содержится значительное количество не подвергшегося изменениям катализатора.



a *b* *c*

Рисунок 3. ПЭМ-изображения образцов, синтезированных на катализаторе: *a* – $Ni/_{0,3}$ MgO; *b* – $Ni/_{0,5}$ MgO; *c* – $Ni/_{0,16}$ MgO

Figure 3. Pam-images of samples synthesized on the catalyst: *a* – $Or/_{0,3}$ MgO; *b* – $Or/_{0,5}$ MgO; *c* – $Or/_{0,16}$ MgO

Анализ ПЭМ-изображений синтезированных образцов (рисунок 3) подтверждает ранее высказанное предположение о том, что нитевидные образования представляют собой многослойные углеродные нанотрубки диаметром ~ 40 нм, содержащие на своих концах металлические частицы никеля.

Качественная оценка структурной дефектности графеновых слоев синтезированных углеродных наноматериалов осуществлялась с помощью спектров КР (рисунок 4), на которых присутствуют характеристические пики с положением около 1300 (D) и 1600 $см^{-1}$ (G). Первый из них указывает на образование sp^3-связей при возникновении топологических дефектов в графеновых слоях и наличие частиц аморфного углерода; второй – свидетельствует о присутствии правильных графеновых слоев, состоящих из атомов углерода в состоянии sp^2-гибридизации. Значения соотношения интенсивностей пиков D/G для образцов, синтезированных на $Ni/_{0,3}$ MgO катализаторе, составляют 1,44, на $Ni/_{0,5}$ MgO – 1,1 и на $Ni/_{0,16}$ MgO – 1,64. Таким образом, углеродные нанотрубки с наиболее упорядоченной структурой графеновых слоев синтезированы на катализаторе с минимальным содержанием активных частиц.

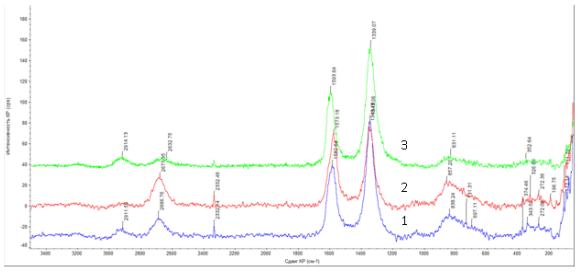


Рисунок 4. Спектры КР образцов, синтезированных на катализаторе: 1 – $Ni/_{0,3}$ MgO; 2 – $Ni/_{0,5}$ MgO; 3 – $Ni/_{0,16}$ MgO

Figure 4. Spectra of the KR samples synthesized on the catalyst: 1 – $Or/_{0,3}$ MgO; 2 – $Or/_{0,5}$ MgO; 3 – $Or/_{0,16}$ MgO

Результаты исследования взаимодействия электромагнитных волн с композитами, содержащими образцы УНТ с различной структурной дефектностью и степенью конверсии, представлены на рисунке 5–6.

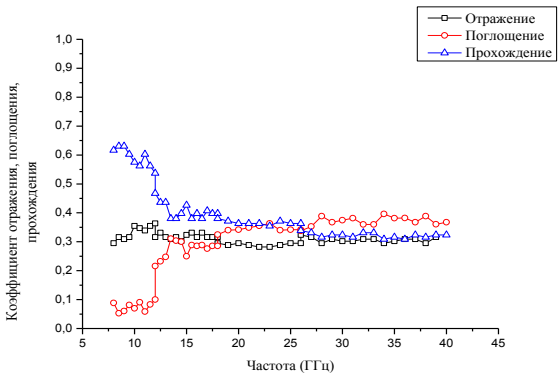


Рисунок 5. Коэффициенты отражения, поглощения, прохождения электромагнитного излучения для композитных материалов на основе полиуретанового компаунда Силагерм с добавками УНТ $Ni/_{0,5}$ MgO

Figure 5. Factors of reflection, absorption, passing of electromagnetic radiation for composite materials on the basis of the polyurethane compound of silagim with additives of UNT $Or/_{0,5}$ MgO

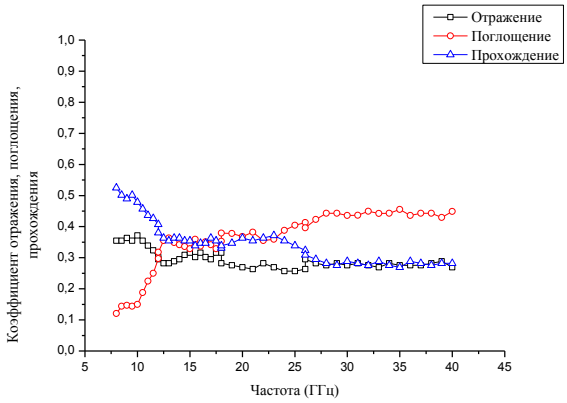


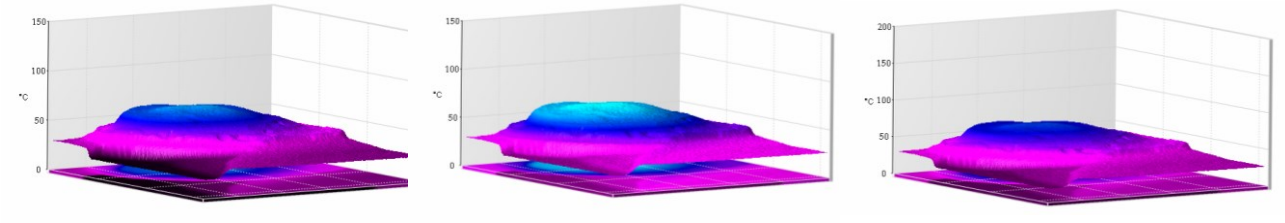
Рисунок 6. Коэффициенты отражения, поглощения, прохождения электромагнитного излучения для композитных материалов на основе полиуретанового компаунда Силагерм с добавками УНТ $Ni/_{0,16}$ MgO

Figure 6. Factors of reflection, absorption, passing of electromagnetic radiation for composite materials on the basis of the polyurethane compound of silagim with additives of UNT $Or/_{0,16}$ MgO

Для образцов композитов, содержащих УНТ $Ni/_{0,5}$ MgO и $Ni/_{0,3}$ MgO, параметры взаимодействия с электромагнитным полем носят идентичный характер в рамках погрешности. В целом наблюдается линейная зависимость коэффициента отражения от частоты для композитов, модифицированных УНТ $Ni/_{0,5}$ MgO и $Ni/_{0,16}$ MgO. Для композитов, полученных на основе УНТ $Ni/_{0,5}$ MgO и $Ni/_{0,16}$ MgO, значение коэффициента отражения практически не зависит от частоты и составляет ~30–35% в диапазоне от 8 до 40 ГГц. Значения коэффициентов прохождения для первой и второй системы монотонно убывают от 65 до 35% и от 55 до 35% соответственно в исследуемом диапазоне частот.

Композиты, содержащие УНТ $Ni/_{0,5}$ MgO и $Ni/_{0,16}$ MgO, позволяют добиться более низких значений коэффициента отражения и независимости коэффициента отражения от роста частоты. Таким образом, нет прямой корреляции между способностью полимерных композитов к отражению ЭМИ и структурной дефектностью графеновых слоев, использованных в качестве модификаторов УНТ, а также степенью конверсии активных частиц металлокисного катализатора.

Распределения профилей температурного поля под действием неодимового магнита для полиуретановых композитов, содержащих в качестве наполнителя только один из видов синтезированных УНТ, представлены на рисунке 7.



a *b* *c*

Рисунок 7. 3D-термограммы в процессе полимеризации модифицированного полиуретанового композита, содержащего (сколько масс. %) углеродных нанотрубок, синтезированных на катализаторе: *a* – Ni/$_{0,5}$ MgO; *b* – Ni/$_{0,5}$ MgO; *c* – Ni/$_{0,16}$ MgO

Figure 7. 3D-Thermograms in the process of polymerization of the modified polyurethane composite containing (How many masses. %) Carbon nanotubes synthesized on the catalyst: *a* – Or/$_{0,5}$ MgO; *b* – Or/$_{0,5}$ MgO; *c* – Or/$_{0,16}$ MgO

На рисунке 8 представлено распределение температурного поля при введении в полиуретан равной пропорции трех различных УНТ, полученных на Ni/$_{0,5}$ MgO, Ni/$_{0,5}$ MgO и Ni/$_{0,16}$ MgO.

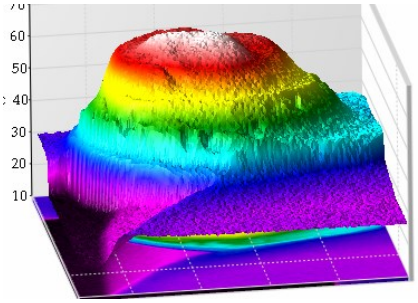


Рисунок 8. 3D-термограмма в процессе полимеризации полиуретанового композита, модифицированного смесью УНТ (по ск. масс.%), синтезированных на Ni/$_{0,5}$ MgO, Ni/$_{0,5}$ MgO и Ni/$_{0,16}$ MgO

Figure 8. 3D-Thermogram in the process of polymerization of polyurethane composite, modified by the mixture of UNT (by SK. Mass%) Synthesized on Or/$_{0,5}$ MgO, Or/$_{0,5}$ MgO And Or/$_{0,16}$ MgO

Разный цвет слоев соответствует своему уровню УНТ. УНТ в полиуретановой матрице выстраиваются в соответствии с тем типом катализатора, на основе которого они получены.

Таким образом, применение в составе полимерного композита смеси УНТ способствует формированию иерархической структуры в полиуретановой матрице.

Заключение

Разработанная методика направленного синтеза углеродных наноматериалов позволяет получить материалы с разнообразными морфологическими параметрами. Применение катализатора на основе никеля обеспечивает материалу магнитные свойства. Диаметр углеродных нитевидных образований, синтезированных на Ni/$_{0,16}$ MgO и Ni/$_{0,3}$ MgO катализаторах, ~30÷60 нм. В образце, полученном на Ni/$_{0,5}$ MgO каталитической системе, помимо нитевидных образований присутствует много непрореагировавшего катализатора. Структурное разнообразие УНТ может способствовать созданию эффективной иерархической структуры в радиопоглощающем композите. Для образцов композитов, содержащих УНТ Ni/$_{0,5}$ MgO и Ni/$_{0,3}$ MgO, параметры взаимодействия с электромагнитным полем носят идентичный характер в рамках погрешности. В целом наблюдается линейная зависимость коэффициента отражения от частоты для композитов, модифицированных УНТ Ni/$_{0,5}$ MgO и Ni/$_{0,16}$ MgO. Для композитов, полученных на основе УНТ Ni/$_{0,5}$ MgO и Ni/$_{0,16}$ MgO, значение коэффициента отражения практически не зависит от частоты и составляет ~30–35% в диапазоне от 8 до 40 ГГц. Значения коэффициентов прохождения для первой и второй системы монотонно убывают от 65 до 35% и от 55 до 35% соответственно в исследуемом диапазоне частот.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-53-00032 Бел_а.

ЛИТЕРАТУРА

1 Смирнов Д.О. Композиционные радиопоглощающие материалы на основе ферримагнитных соединений. Москва, 2009. 176 с.

2 Abrashova E.V., Gracheva I.E., Moshnikov V.A. Functional nanomaterials based on metal oxides with hierarchical structure // Journal of Physics: Conference Series. 2013. V. 461. № 1. P. 012019. doi: 10.1088/1742–6596/461/1/012019

3 Ковнеристый Ю.К., Лазарева И.Ю., Раваев А.А. Материалы, поглощающие СВЧ-излучения. М.: Наука, 1982. 164 с.

4 Богородицкий Н.П. Электротехнические материалы. Л.: Энергия, 1977. 352 с.

5 Б.М. Тареев, Н.В. Коротков, В.М. Петров и др. Электрорадиоматериалы. М.: Высшая школа, 1976. 336 с.

6 Уфимцев П.Я. Метод краевых волн в физической теории дифракции. М.: Советское радио, 1962, 243 с.

7 Розанов. Н. Фундаментальное ограничение для ширины рабочего диапазона радиопоглощающих покрытий // Радиотехника и электроника. 1999. Т.44, № 5. С. 526–530.

8 Gao J., Li Ch., Shilpakar U., Shen Y. Improvements of mechanical properties in dissimilar joints of HDPE and ABS via carbon nanotubes during friction stir welding process // Materials and Design. 2015. V. 86. P. 289–296. doi: 10.1016/j.matdes.2015.07.095

9 Chen J., Hutchings I.M., Deng T., Bradley M.S.A. et al. The effect of carbon nanotube orientation on erosive wear resistance of CNT-epoxy based composites // Carbon. 2014. V. 73. P. 421–431. doi: 10.1016/j.carbon.2014.02.083

10 Al-Saleh M.H., Al-Anid H.K., Hussain Y.A. CNT/ABS nanocomposites by solution processing: Proper dispersion and selective localization for low percolation threshold // Composites: Part A. 2013. V. 46. P. 53–59. doi: 10.1016/j.compositesa.2012.10.010

11 Bauhofer W., Kovacs J.Z. A Review and Analysis of Electrical Percolation in Carbon Nanotube Polymer Composites // Composites Science and Technology. 2009. V. 69. P. 1486–1498. doi: 10.1016/j.compscitech.2008.06.018

12 Bychanok D., Gorokhov G., Meisak D., Plyushch A. et al. Exploring Carbon Nanotubes/BaTiO3 /Fe3O4 Nanocomposites as Microwave Absorbers // Progress In Electromagnetics Research C. 2016. V. 66. P. 77–85. doi:10.2528/PIERC16051106

REFERENCES

1 Smirnov D.O. Kompozicionnye radiopogloshchayushchie materialy na osnove ferrimagnitnyh soedinenij [Composite radio-absorbing materials on the basis of ferrimagnetic compounds]. Moscow, 2009. 176 p. (in Russian).

2 Abrashova E.V., Gracheva I.E., Moshnikov V.A. Functional nanomaterials based on metal oxides with hierarchical structure. Journal of Physics: Conference Series. 2013. vol. 461. no. 1. pp. 012019. doi: 10.1088/1742–6596/461/1/012019

3 Kovneristiy Yu.K., Lazareva I.Yu., Ravaev A.A. Materialy, pogloshchayushchie SVCH-izlucheniya. [Materials absorbing microwave radiation]. Moscow, Nauka, 1982. 164 p. (in Russian).

4 Bogoroditsky N.P. Ehlektrotekhnicheskie materialy [Electrotechnical materials]. Leningrad, Energy, 1977. 352 p. (in Russian).

5 Tareev B.M., Korotkov N.V., Petrov V.M. et al. Ehlektroradiomaterialy [Electroradiomaterials]. Moscow, Higher School, 1976. 336 p. (in Russian).

6 Ufimtsev P.Ya. Metod kraevyh voln v fizicheskoj teorii difrakcii [Edge wave method in the physical theory of diffraction]. Moscow, Soviet radio, 1962. 243 p. (in Russian).

7 Rozanov. N. Fundamental restriction for the width of the working range of radio-absorbing coatings. *Radiotekhnika i ehlektronika* [Radio Engineering and Electronics]. 1999. vol. 44. no. 5. pp. 526–530. (in Russian).

8 Gao J., Li Ch., Shilpakar U., Shen Y. Improvements of mechanical properties in dissimilar joints of HDPE and ABS via carbon nanotubes during friction stir welding process. Materials and Design. 2015. vol. 86. pp. 289–296. doi: 10.1016/j.matdes.2015.07.095

9 Chen J., Hutchings I.M., Deng T., Bradley M.S.A. et al. The effect of carbon nanotube orientation on erosive wear resistance of CNT-epoxy based composites. Carbon. 2014. vol. 73. pp. 421–431. doi: 10.1016/j.carbon.2014.02.083

10 Al-Saleh M.H., Al-Anid H.K., Hussain Y.A. CNT/ABS nanocomposites by solution processing: Proper dispersion and selective localization for low percolation threshold. Composites: Part A. 2013. vol. 46. pp. 53–59. doi: 10.1016/j.compositesa.2012.10.010

11 Bauhofer W., Kovacs J.Z. A Review and Analysis of Electrical Percolation in Carbon Nanotube Polymer Composites. Composites Science and Technology. 2009. vol. 69. pp. 1486–1498. doi: 10.1016/j.compscitech.2008.06.018

12 Bychanok D., Gorokhov G., Meisak D., Plyushch A. et al. Exploring Carbon Nanotubes/BaTiO3 /Fe3O4 Nanocomposites as Microwave Absorbers. Progress In Electromagnetics Research C. 2016. vol. 66. pp. 77–85. doi:10.2528/PIERC16051106

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Александр В. Щегольков к.т.н., доцент, кафедра техники и технологии производства нанопродуктов, Тамбовский государственный технический университет, улица Советская, 106, г. Тамбов, 392000, Россия, Energynano@yandex.ru

Алексей В. Щегольков аспирант, кафедра техники и технологии производства нанопродуктов, Тамбовский государственный технический университет, улица Советская, 106, г. Тамбов, 392000, Россия, alexxx5000@mail.ru

Иван Д. Парфимович младший научный сотрудник, лаборатория элионики, Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» БГУ, Курчатова, 7, г. Минск, 220045, Беларусь, parfimovich@bsu.by

Елена А. Буракова к.т.н., доцент, кафедра техники и технологии производства нанопродуктов, Тамбовский государственный технический университет, Советская, 106, г. Тамбов, 392000, Россия , elenburakova@yandex.ru.

Александр В. Кобелев к.т.н., доцент, кафедра электроэнергетики, Тамбовский государственный технический университет, Советская, 106, г. Тамбов, 392000, Россия, kobelev77@rambler.ru

Татьяна П. Дьячкова д.х.н., профессор, кафедра техники и технологии производства нанопродуктов, Тамбовский государственный технический университет, улица Советская, 106, г. Тамбов, 392000, Россия, mashtatpetr@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 28.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 02.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Alexandr V. Shchegolkov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, department of technique and production technology of nanoproducts, Tambov State Technical University, Technical University, Sovetskaya str., 106,, Energynano@yandex.ru

Aleksei V. Shchegolkov graduate student, department of technique and production technology of nanoproducts, Tambov State Technical University, Technical University, Sovetskaya, 106, alexxx5000@mail.ru

Ivan D. Parafimovich junior researcher, laboratoty of elioniks, A.N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems of Belarussian State University, Kurchatova Av., 7, 220045, Belarus, parfimovich@bsu.by

Elena A. Burakova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, department of technique and production technology of nanoproducts, Tambov State Technical University, Sovetskaya, 106, Tambov, 392000, Russia, elenburakova@yandex.ru.

Alexander V. Kobelev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, department of electrical power engineering, Tambov State Technical University, Sovetskaya str., 106, Tambov, 392000, Russia, kobelev77@rambler.ru

Tatyana P. Dyachkova Dr. Sci. (Chem.), professor, department of technique and production technology of nanoproducts, Tambov State Technical University, Sovetskaya str., 106, Tambov, 392000, Russia, mashtatpetr@mail.ru

CONTRIBUTION

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.28.2018

ACCEPTED 11.2.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 699.231.3

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-344-348

Теплоаккумулирующие материалы на основе наномодицированного парафина, управляемые магнитным полем

Александр В. Щегольков [1] Energynano@yandex.ru
Алексей В. Щегольков [1] alexxx5000@mail.ru
Виктор С. Ягубов [1] vitya-y@mail.ru
Александр С. Зорин [1] zorin619@bk.ru
Александр В. Кобелев [1] kobelev77@rambler.ru

[1] Тамбовский государственный технический университет улица Советская, 106, г. Тамбов, 392000, Россия

Аннотация. В статье представлены исследования наномодифицированных теплоаккумулирующих материалов управляемых магнитным полем. В качестве материала обладающего эффектом накопления энергии в фазовом переходе использован парафин. Для модифицирования парафина применены углеродные нанотрубки. Для синтеза углеродных нанотрубок использован катализатор Co-Mo/Al_2O_3-MgO. Процесс синтеза основан на CVD методе. Описана методика получения наномодифицирвоанного парафина обладающего ферромагнитными свойствами. Для придания ферромагнитных свойств парафину в него вводился предварительно измельченный с углеродными нанотрубками ферромагнитный порошок. Для ферромагнитного порошка была использована механоактивация, что обеспечило получение частиц со средним размеров в 5 мкм. Анализ режимов управления зарядом теплоаккумулирующего материала на основе парафина был осуществлен с помощью бесконтактного метода измерения температурного поля. Для этого использовался тепловизозор FLUKE Ti9 с приемником излучений 160 х 120 и матрицей в фокальной плоскости и диапазоном измерений от -20 до +250℃. Морфологию и структуру синтезированных углеродных нанотрубок изучали посредством сканирующей электронной микроскопии (просвечивающий электронный микроскоп Hitachi H-800). Изучено поведение модифицированного парафина в условиях минерального моторного масла под воздействием электромагнитных полей. Предложена конструкция теплового аккумулятора для работы с магнитоуправляемым теплоаккумулирующим материалом. Установлено что, теплоперенос в системе обеспечивается двумя одновременно происходящими процессами естественной и термомагнитной конвекцией. В свою очередь конвекция может быть реализована за счет изменения магнитной восприимчивости при изменение температуры и при геометрическом изменение положения магнита или группы магнитов.

Ключевые слова: тепловой аккумулятор, углеродные нанотрубки, магнитное поле, тепловая энергия.

Heat storage materials based on nanomodified paraffin, controlled by a magnetic field

Alexandr V. Shchegolkov [1] Energynano@yandex.ru
Aleksei V. Shchegolkov [1] alexxx5000@mail.ru
Victor S. Yagubov [1] vitya-y@mail.ru
Alexander S. Zorin [1] zorin619@bk.ru
Alexander V. Kobelev [1] kobelev77@rambler.ru

[1] Tambov State Technical University Sovetskaya str., 106, Tambov, 392000, Russia

Abstract. The article presents studies of nano-modified heat-accumulating materials controlled by a magnetic field. Paraffin is used as a material with the effect of energy accumulation in the phase transition. Carbon nanotubes are used to modify paraffin. For the synthesis of carbon nanotubes used catalyst Co-Mo/Al_2O_3-MgO. The synthesis process is based on the CVD method. The method of obtaining nanomodified paraffin with ferromagnetic properties is described. To impart paraffin ferromagnetic properties, a ferromagnetic powder previously ground with carbon nanotubes was introduced into it. Mechanical activation was used for the ferromagnetic powder, which provided particles with an average size of 5 μm. The analysis of charge control regimes of a paraffin-based heat-accumulating material was carried out using a non-contact method for measuring the temperature field. For this purpose, the FLUKE Ti9 thermal imager with a 160 x 120 radiation detector and a matrix in the focal plane and a measurement range from -20 to +250℃was used. The morphology and structure of the synthesized carbon nanotubes were studied by scanning electron microscopy (a Hitachi H-800 transmission electron microscope). The behavior of the modified paraffin in the conditions of mineral motor oil under the influence of electromagnetic fields was studied. The design of a heat accumulator for working with a magnetically controlled heat-accumulating material is proposed. It is established that the heat transfer in the system is provided by two simultaneously occurring processes of natural and thermomagnetic convection. In turn, convection can be realized by changing the magnetic susceptibility with a change in temperature and with a geometric change in the position of a magnet or a group of magnets.

Keywords: heat storage, carbon nanotubes, magnetic field, thermal energy.

Для цитирования

Щегольков А.В., Щегольков А.В., Ягубов В.С., Зорин А.С., Кобелев А.В. Теплоаккумулирующие материалы на основе наномодицированного парафина, управляемые магнитным полем // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 344–348. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-344-348

For citation

Shchegolkov A.V., Shchegolkov A.V., Yagubov V.S., Zorin A.S., Kobelev A.V. Heat storage materials based on nanomodified paraffin, controlled by a magnetic field. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 344–348. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-344-348

Введение

Повышение эффективности теплотехнического оборудования основано на применении новых технологических приемов и теплоаккумулирующих материалов (ТМ). Появление нового типа теплоаккумулирующих материалов может быть реализовано с помощью технологий наномодифицирования. В этом отношении особое значение приобретает применение углеродных нанотрубок.

ТМ используются для создания тепловых аккумуляторов (ТА). Наиболее эффективными считаются ТМ, способные накапливать тепловую энергию в фазовом переходе [1, 2]. Дальнейшее совершенствование (ТМ) может быть связано с введением для них новых функциональных возможностей, к которым следует отнести особые ферромагнитные свойства. Однако материалы, обладающие способностями к обратимым фазовым переходам, как правило, парамагнетики. Для приданиям им ферромагнитных свойств необходимо вводить в них ферромагнитные частицы. Это затруднительно, т.к. ферромагнитные частицы выступают инородными структурами и выпадают в осадок. По этой причине следует рассмотреть особые технологические приемы, которые позволят ввести в их структуру ферромагнитные частицы.

При исследовании композиций, содержащих углеродные волокна, авторы работы [3] утверждают, что уменьшение количества контактов между высокотеплопроводными частицами должно быть сведено к минимуму. Современные исследования демонстрируют повышение теплопроводности суспензий при увеличении длины чешуек графена [4]. Данный эффект объясняется баллистическим режимом теплопроводности низкочастотных акустических фононов [5]. Также в [5] представлены экспериментальные результаты, которые демонстрируют увеличение теплопроводности парафина практически на 2 порядка при использовании графенов. Концентрация графена в парафине составляла 20 % по массе, толщина и длина чешуек 1–8 нм и 500–10000 нм соответственно [5]. Следует отметить сильную зависимость теплопроводности от содержания графена в парафине. При использовании авторам работы [6] концентрации в 10 раз меньшей, чем в [5], теплопроводность нанокомпозита увеличилась лишь на 60 %.

В статье [10] представлено практическое применение модифицированого графеном парафина для Li-ion аккумулятора. Показано, что введение 20% графена может обеспечить увеличение теплопроводности до 50 W/mK при сохранении возможности накопления тепла на эффекте фазового перехода. Однако высокая стоимость графена приводит к необходимости искать материалы, которые позволяют повышать теплопроводность при меньших концентрациях и обладают низкой стоимостью. К таким материалам можно отнести графены, обладающие магнитными свойствами. В статье [11] показаны исследования теплопроводности материалов с эффектом самовыравнивания в структуре модифицированного материала. В статье представлен метод синтеза нанокомпозитного графена с наночастицами Fe3O4. Самовыравнивание “магнитного графена” улучшает теплопроводность композитов и эпоксидных смол. Улучшение теплопроводности с ориентированными заполнителями происходит при низких концентрациях порядка ~1%. В то же время авторы работы [11] рассматривают материалы, не обладающие эффектом фазового перехода. В этом отношении исследование вопросов введения управляемых наноструктур в материалы с фазовыми переходами является важной научной и практической задачей.

Анализ научно-технической литературы позволяет сделать вывод о том, что наномодифицирование парафинов углеродными наноструктурными материалами (нановолокна, нанотрубки, графены) позволяет существенно изменять теплофизические характеристики. Наномодифицированный теплоаккумулирующий материал будет обладать более высоким уровнем функциональных возможностей, приводящих к взаимодействию его с электромагнитным полем. Это обеспечит возможность управляемого координирования в пространстве различных жидких сред теплоаккумулирующих гранул, а также более интенсивный режим накопления тепловой энергии за счет конвективного перемешивания. За счет управляемости скорость заряда/разряда теплового аккумулятора может увеличится в 2 раза.

Цель работы – выявление механизмов теплообмена в тепловых аккумуляторах в присутствие магнитоуправляемых частиц.

Материалы и методы

Достижение поставленного результата основано на использовании подходов направленного синтеза углеродных наноструктур и выработке эффективных методов модификации за счет энергетических воздействий магнитными полями и ультразвуковым излучением. С целью модфицирования парафина используем направленный синтез катализаторов Co-Mo/Al_2O_3-MgO (регулируемые диаметр, дефектность, уд. поверхность и др.).

Приготовленный Co-Mo/Al_2O_3-MgO катализатор имеет чешуйчатую структуру.

Использование полученного катализатора в процессе ГФХО (источник углерода пропан-бутановая смесь, t = 650 °С, 40 мин) позволяет получать однородный наноструктурный материал с удельной поверхностью 306,2 $м^2$/г, представляющий собой протяженные нитевидные образования диаметром 15–20 нм и длиной более 2 мкм.

После этого УНМ (углеродные нанотрубки) механоактивируется с предварительно размолотым до 5 мкм цинковым ферритом ЕЕ65В в шаровой мельнице в течение 20 мин.

Модифицирование парафинов полученными УНМ, имеющими нужную морфологию, обеспечит взаимодействие на молекулярном уровне и позволит создать устойчивый материал с теми характеристиками, которые требуются для формирования ТМ. Модифицирование происходит в процессе фазового перехода парафина, когда он переходит в жидкое состояние при температуре, при которой достигается порог его термического разложения, что обеспечивает возможность реагирования УНМ с молекулами парафина. Для инициации этого процесса необходимо воздействие ультразвука, что обеспечивает явление кавитации в объеме расплавленного парафина. Для обеспечения нужной ориентации интегрированных в УНМ структур при остывании расплавленный парафин подвергается воздействию магнитного поля. После этого материал подвергается механическому воздействию в экструдере с фторопластовым шнеком. Мощность приводного двигателя экструдера 1 кВт, при частоте вращения 60 об/мин. Далее полученный материал гранулируется в пресс-грануляторе с доведением гранул до размера от 1 до 2 мм. В итоге отдельные гранулы представляют собой сферы с диаметром от 1 до 2 мм. После этой операции гранулы засыпаются в жидкость-носитель.

Жидкостью-носителем являлось минеральное моторное масло Optimum 15W – 40 (Роснефть, Россия). Моторное масло и магнитный наполнитель взвешивались на весах AdventurerPro фирмы OHAUS с точностью ±0,5 мг. После этого наполнитель вводился в моторное масло и тщательно перемешивался. Полученная плотная взвесь разбавлялась жидкостью-носителем и механически размешивалась до получения коллоидного раствора. Для бесконтактного измерения температурного поля в ТМ был использован тепловизор FLUKE Ti9 с приемником излучений 160 х 120 и матрицей в фокальной плоскости и диапазоном измерений от -20 °С до +250 °С с погрешностью ± 0,5 °С. Морфологию и структуру синтезированных УНТ изучали посредством сканирующей электронной микроскопии (просвечивающий электронный микроскоп Hitachi H-800). Магнитная индукция для неодимовых магнитов составила 1250 мТл. Разработанная методика исследований позволила экспериментально исследовать температурные режимы в наномодифицированном материале под действием магнитного поля.

Результаты и обсуждение

Морфология синтезированного наноматериала представлена на рисунке 1 и 2

Структура данного материала представлена на микрофотографиях, полученных ПЭМ (рисунок 2).

На рисунке 3 представлено поведение наномодифицированного ТМ, распределенного в жидкости-носителе, при действии на неё магнитного поля, созданного постоянным магнитом (1250 мТл).

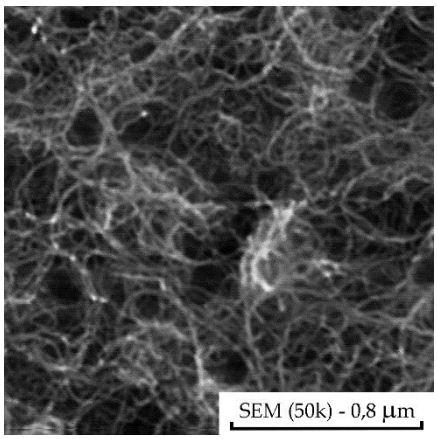


Рисунок 1. СЭМ изображения УНТ, синтезированных на Co-Mo/Al_2O_3-MgO катализаторе

Figure 1. Images of UNT, synthesized on Co-Mo/Al_2O_3-MgO Catalyst

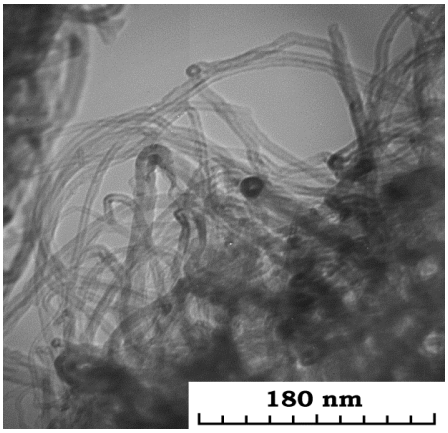


Рисунок 2. Структура УНМ, синтезированного на Co-Mo/Al_2 O_3-MgO катализаторе

Figure 2. The structure of the UNM synthesized on Co-Mo/Al_2 About$_3$-MgO Catalyst

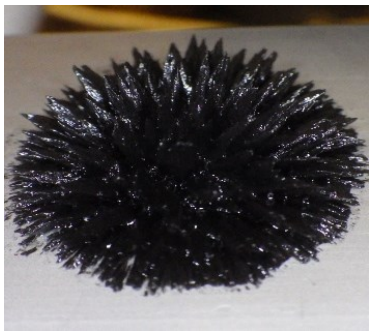


Рисунок 3. Ферромагнитная жидкость под действием магнитного поля
Figure 3. Ferromagnetic liquid under the influence of magnetic field

На рисунке 4 показано распределение температурного поля в емкости, содержащей наномодифицированный парафин с ферромагнитными частицами, распределенный в синтетическом масле, в результате действия магнитного поля, создаваемого постоянным магнитом цилиндрической формы. Источник теплового потока расположен в нижней части емкости в виде плоского электронагревателя мощностью 200 Вт и площадью 0,0027 м^2. При таких параметрах нагревателя тепловой поток составляет 74 кВт/м^2. В случае обычной конвекции слои, имеющие более высокую температуру, перемещаются в верхнюю часть емкости, т.к. имеют меньшую плотность. Скорость такой конвекции невысокая, что снижает эффективность заряда теплового аккумулятора. Для интенсификации процесса используется постоянный магнит, который, создавая магнитное поле в определенной части емкости, заставляет перемещаться ТМ именно в эту часть емкости. При нагреве ТМ происходит изменение ферромагнитных свойств. Так, нагретый ТМ обладает более низкой магнитной восприимчивостью.

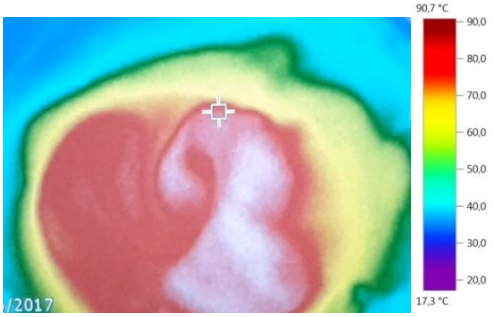


Рисунок 4. Анализ температурного режима ТМ
Figure 4. Analysis of temperature Mode of TM

Из рисунка 4 следует возможность управления внутренними теплообменными процессами в ТМ, что способствует более эффективному режиму заряда / разряда и последующему хранению тепловой энергии, т.к. ТМ с ферромагнитными частицами может располагаться в емкости без соприкосновения со стенками корпуса ТА.

Разработка ТА на основе наномодифицированного парафина

Основными режимами для ТА являются режимы заряда и разряда тепловой энергией. Для этих режимов необходимо реализовать контролируемый темп как накопления тепловой энергии, так и отдачи. Для режима заряда необходимо обеспечить наибольшую скорость получения тепловой энергии даже при условии падения разности температур, которая может быть связана с уменьшением температуры от приемного устройства (элемента технологического оборудования). При этом КПД ТА серьезным образом зависит от режима разряда, т.к. в случае неполного разряда остается тепловая энергия (для пассивных ТА – может доходить до 40%).

На рисунке 5 показано устройство управляемого ТА. В емкости (выполненной из полимерного материала) *1* располагаются теплообменные элементы *2*. В емкость заливается магнитоуправляемый ТМ. На стороне емкости, где имеются теплообменные элементы, имеется группа неодимовых магнитов. Внутренний теплообмен осуществляется на основе эффекта термомагнитной конвекции.

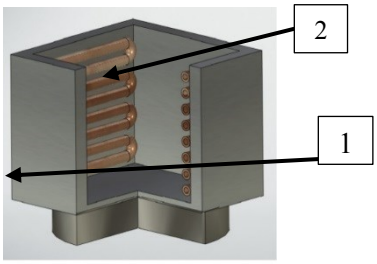


Рисунок 5. Устройство ТА на управляемого теплоаккумулирующего материала
Figure 5. Device on the controlled heat-accumulating material

Заключение

Теплоперенос в системе обеспечивается двумя одновременно происходящими процессами естественной и термомагнитной конвекции. В свою очередь, конвекция может быть реализована за счет изменения магнитной восприимчивости при изменении температуры и геометрическом изменении положения магнита или группы магнитов.

Обоснована принципиальная схема ТА с управляемым процессом приема и передачи тепловой энергии на основе ТМ с ферромагнитными свойствами.

Обоснован эффективный состав ТМ на основе минерального масла с ферромагнитными частицами, парафином и углеродными нанотрубками.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Тамбовской области в рамках научного проекта № 18-43-680012

ЛИТЕРАТУРА

1 Бекман Г., Гилли П. Тепловое аккумулирование энергии. М.: Мир, 1987. 272 с

2 Левенберг В.Д., Ткач М.Р, Гольстрем В.А. Аккумулирование тепла. К.: Тэхника, 1991. 112 с.

3 Fan L., Khodadadi J.M. Thermal conductivity enhancement of phase change materials for thermal energy storage: A review // Renewable and sustainable energy reviews. 2011. V. 15. P. 24–46.

4 Xu X., Pereira L.F., Wang Y., Wu J. et al. Length-dependent thermal conductivity in suspended single-layer grapheme // Nature communication. 2014. V. 5. № 3689. P. 1–6.

5 Renteria J.D., Nika D.L., Balandin A.A. Graphene thermal properties: applications in thermal management and energy storage // Applied sciences. 2014. V. 4. P. 525–547.

6 Абдурахманов Г.М., Лопатин И.К. Основы зоологии и зоогеографии. М.: Академия, 2001. 496 с.

7 Liu X., Rao Z. Experimental study on the thermal performance of graphene andexfoliated graphite sheet for thermal energy storage phase changematerial // Thermochimica acta. 2017. V. 647. P. 15–21.

8 Sridhar S., Tiwary C., Vinod S., Taha-Tijerina J.J. et al. Field emission with ultralow turn on voltage from metal decorated carbon nanotubes // ACS nano. 2014. V. 8. №. 8. P. 7763-7770.

9 Ma R., Hu J., Cai Z., Ju H. Facile synthesis of boronic acid-functionalized magnetic carbon nanotubes for highly specific enrichment of glycopeptides // Nanoscale. 2014. V. 6. №. 6. P. 3150-3156.

10 Liu X., Marangon I., Melinte G., Wilhelm C. et al. Design of covalently functionalized carbon nanotubes filled with metal oxide nanoparticles for imaging, therapy, and magnetic manipulation // ACS nano. 2014. V. 8. №. 11. P. 11290-11304.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Александр В. Щегольков к.т.н., доцент, кафедра техники и технологии производства нанопродуктов, Тамбовский государственный технический университет, ул. Советская, 106, г. Тамбов, 392000, Россия, Energynano@yandex.ru

Алексей В. Щегольков аспирант, кафедра техники и технологии производства нанопродуктов, Тамбовский государственный технический университет, ул. Советская, 106, г. Тамбов, 392000, Россия, alexxx5000@mail.ru

Виктор С. Ягубов аспирант, кафедра техники и технологии производства нанопродуктов, Тамбовский государственный технический университет), Советская, 106, г. Тамбов, 392000, Россия, vitya-y@mail.ru

Александр С. Зорин аспирант, кафедра технической механики и деталей машинв, Тамбовский государственный технический университет, ул. Советская, 106, г. Тамбов, 392000, Россия, zorin619@bk.ru

Александр В. Кобелев к.т.н., доцент, кафедра электроэнергетики, Тамбовский государственный технический университет, ул. Советская, 106, г. Тамбов, 392000, Россия, kobelev77@rambler.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 15.09.2018
ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 30.10.2018

REFERENCES

1 Beckman G., Ghilli P. Teplovoe akkumulirovanie ehnergii [Thermal energy storage]. Moscow, Mir, 1987. 272 p. (in Russian).

2 Levenberg V.D., Tkach M.R., Holstrum V.A. Akkumulirovanie tepla [Heat accumulation]. Kiev, Tehnika, 1991. 112 p. (in Russian).

3 Fan L., Khodadadi J.M. Thermal conductivity enhancement of phase change materials for thermal energy storage: A review. Renewable and sustainable energy reviews. 2011. vol. 15. pp. 24–46.

4 Xu X., Pereira L.F., Wang Y., Wu J. et al. Length-dependent thermal conductivity in suspended single-layer grapheme. Nature communication. 2014. vol. 5. no. 3689. pp. 1–6.

5 Renteria J.D., Nika D.L., Balandin A.A. Graphene thermal properties: applications in thermal management and energy storage. Applied sciences. 2014. vol. 4. pp. 525–547.

6 Abdurahmanov G.M., Lopatin I.K. Osnovy zoologii i zoogeografii [Basics of zoology and zoogeography]. Moscow, Akademiya, 2001. 496 p. (in Russian).

7 Liu X., Rao Z. Experimental study on the thermal performance of graphene andexfoliated graphite sheet for thermal energy storage phase changematerial. Thermochimica acta. 2017. vol. 647. pp. 15–21.

8 Sridhar S., Tiwary C., Vinod S., Taha-Tijerina J.J. et al. Field emission with ultralow turn on voltage from metal decorated carbon nanotubes. ACS nano. 2014. vol. 8. no. 8. pp. 7763-7770.

9 Ma R., Hu J., Cai Z., Ju H. Facile synthesis of boronic acid-functionalized magnetic carbon nanotubes for highly specific enrichment of glycopeptides. Nanoscale. 2014. vol. 6. no. 6. pp. 3150-3156.

10 Liu X., Marangon I., Melinte G., Wilhelm C. et al. Design of covalently functionalized carbon nanotubes filled with metal oxide nanoparticles for imaging, therapy, and magnetic manipulation. ACS nano. 2014. vol. 8. no. 11. pp. 11290-11304.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Alexandr V. Shchegolkov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology and technology of production of nanoproducts department, Tambov State Technical University, Sovetskaya str., 106, Tambov, 392000, Russia, Energynano@yandex.ru

Aleksei V. Shchegolkov graduate student, technology and technology of production of nanoproducts department, Tambov State Technical University, Sovetskaya str., 106, Tambov, 392000, Russia, alexxx5000@mail.ru

Victor S. Yagubov graduate student, technology and technology of production of nanoproducts department, Tambov State Technical University, Sovetskaya str., 106, Tambov, 392000, Russia, vitya-y@mail.ru

Alexander S. Zorin graduate student, technical mechanics and machine parts department, Tambov State Technical University, Sovetskaya str., 106, Tambov, 392000, Russia, zorin619@bk.ru

Alexander V. Kobelev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, electricity department, Tambov State Technical University, Sovetskaya str., 106, Tambov, 392000, Russia, kobelev77@rambler.ru

CONTRIBUTION

All authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.15.2018
ACCEPTED 10.30.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 669.712: 615.035.4

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-349-355

Химические аспекты карбонатного выщелачивания скандия из красных шламов

Сергей И. Степанов [1] chao_step@mail.ru
Маунг Маунг Аунг [1] polluxaung@gmail.com
Хтет Йе Аунг [1] htetyeaung61058@gmail.com
Александр В. Бояринцев [1] boyarin_sanya@mail.ru

[1] Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Миусская пл., 9, г. Москва, 125047, Россия

Аннотация. Красные шламы (КШ) – отходы гидрохимической переработки бокситов по способу Байера, содержат целый ряд редких элементов, таких как галлий, титан, цирконий, редкоземельные элементы и скандий, содержание которого в КШ достигает 130 г/т. В решении проблемы извлечения скандия из КШ выделяют два направления: непосредственное извлечение скандия из КШ, как наиболее ценного и дорогостоящего его компонента, и попутное извлечение при комплексной переработке этого техногенного отхода. Предложенный в Институте химии твердого тела УрО РАН способ карбонатного выщелачивания скандия из КШ в процессе карбонизации щелочного раствора, образующегося при обработке КШ водой, позволяет извлекать не более 20% скандия, что недостаточно для разработки эффективной технологической схемы переработки этого сырья. В настоящей работе рассмотрены особенности химии карбонатного выщелачивания скандия из КШ в гетерогенных системах твердое – жидкость –углекислый газ для разработки условий, способствующих повышению извлечения скандия в растворы выщелачивания. Показано, что выщелачивание скандия из КШ водными растворами карбоната натрия в отсутствие углекислого газа протекает незначительно и сопровождается щелочным гидролизом скандия при высоких значениях pH в концентрированных растворах Na_2CO_3. При сатурации карбонатной пульпы КШ углекислым газом протекает гидролитическая полимеризация гидроксокарбонатов скандия и алюминия в присутствии протона угольной кислоты. Оба процесса: щелочного гидролиза и гидролитической полимеризации сопровождаются образованием вторичных осадков и снижением выхода скандия в карбонатный раствор. Для повышения извлечения скандия необходимо проводить карбонатное выщелачивание в условиях, исключающих или минимизирующих образование вторичных осадков, особенно при сатурации пульпы углекислым газом.

Ключевые слова: красные шламы, скандий, извлечение, карбонатные растворы, гидролитическая полимеризация

Chemical Aspects of Scandium carbonate leaching from Red Muds

Sergei I. Stepanov [1] chao_step@mail.ru
Maung Maung Aung [1] polluxaung@gmail.com
Htet Ye Aung [1] htetyeaung61058@gmail.com
Aleksander V. Boyarintsev [1] boyarin_sanya@mail.ru

[1] D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russian, Miusskaya sq., 9, Moscow, 125047, Russia

Abstract. Red Muds (R.M.) – waste of bauxite reprocessing by the Bayer's method include many rare elements, such as Gallium, Titanium, Zirconium, Rare Earth Elements and Scandium, concentration of which in its reached 130 g/t. In the problem solving of Scandium extraction from R.M. get a two directions: immediate leaching of Scandium from R.M. and in passing Scandium recovery under complexing processing of R.M. The method of carbonate leaching of Scandium from R.M., which was work out in Institute of Solid State Chemistry Russian Academy of Sciences Urals Branch, include saturation by carbon dioxide of alkaline solutions, obtained after water process of R.M. and allow up to 20 % Scandium recovery in solutions. It is not effective for work out of technological scheme of R.M. processing. In recent paper, the chemical aspects of carbonate leaching of Scandium from R.M. in heterogeneous systems solid – liquid – gas carbon dioxide were investigated to determine of conditions for more Scandium recovery from R.M. It was shown, that Scandium leaching by aqueous sodium solutions without carbon dioxide gives small recovery yield and accompanied by alkaline hydrolysis under high pH in concentrated Na_2CO_3 solutions. Under saturation by carbon dioxide of carbonate R.M. pulp, the hydrolytic polymerization of hydroxocarbonates of Scandium and Aluminum in presence of carbonic acid proton take place. In the both process secondary precipitates are settle down and reduce of Scandium recovery yield. For increase of Scandium recovery from R.M. it is necessary to exclude the secondary precipitates under carbonate leaching with saturation by carbon dioxide.

Keywords: red muds, Scandium, leaching, carbonate solutions, hydrolytic polymerization

Введение

Известно [1], что красные шламы (КШ) – отходы гидрохимической переработки бокситов по способу Байера, содержат целый ряд редких элементов, таких, как галлий, титан, цирконий, редкоземельные элементы (РЗЭ) и в том числе скандий, содержание которого в КШ достигает 130 г/т. Такое высокое содержание скандия позволяет рассматривать КШ как техногенное сырье для производства оксида скандия требуемой степени чистоты. С учетом значительного объема накопленных к настоящему времени КШ, порядка 1 млрд 200 млн тонн [2], и ежегодного прироста в ~ 45 млн т запасы скандия в этом сырье оцениваются в значительную величину.

Проблеме извлечения скандия из КШ посвящено большое число научных работ [3–7], патентов [8–9], обсуждений на конференциях

Для цитирования
Степанов С.И., Аунг Маунг Маунг, Аунг Хтет Йе, Бояринцев А.В. Химические аспекты карбонатного выщелачивания скандия из красных шламов // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 349–355. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-349-355

For citation
Stepanov S.I., Aung Maung Maung, Aung Khtet Je, Boyarintsev A.V. Chemical Aspects of Scandium carbonate leaching from Red Muds . *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 349–355. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-349-355

различного уровня [10–11]. Среди значительного потока литературы по этому вопросу необходимо выделить два направления, одно из которых ограничивается непосредственным извлечением скандия из КШ как наиболее ценного и дорогостоящего его компонента. Второе направление рассматривает попутное извлечение скандия из КШ при комплексной переработке этого техногенного отхода. С экономической точки зрения извлечение скандия из КШ может быть очень привлекательным, т. к. конечный продукт – оксид скандия высокой степени чистоты, является ликвидным и дорогостоящим товаром, способным окупить значительные затраты на его производство из КШ и принести прибыль. С экологической точки зрения извлечение (как правило, гидрометаллургическими способами) 100–130 г скандия из 1 т КШ с последующим размещением полученного «нового» отхода в виде КШ, не содержащих скандия, но увеличившихся в объеме до 1,1–1,2 т (за счет перевода компонентов шлама в другие анионные формы и обводнения при переработке) нецелесообразно, т. к. потребует расширения площадей шламовых прудов под эти «новые» КШ. Поэтому комплексная переработка КШ с вовлечением всего количества этих отходов для получения разнообразных ликвидных продуктов, в том числе и оксида скандия, является насущной необходимостью при разработке методов обращения с КШ.

При комплексной переработке КШ большое значение имеет использование для извлечения ценных компонентов тех составляющих шламов, которые остаются в них от основного производства. Речь, прежде всего, идет об остаточной щелочи (NaOH, KOH), содержание которой достигает 5% от исходной массы КШ и которая может быть вовлечена в процессы его переработки. Поэтому предложенный в ИХТТ УрО РАН [8] способ карбонатного выщелачивания скандия из КШ в процессе карбонизации щелочного раствора, образующегося при обработке КШ водой, является примером эффективного ресурсосбережения при переработке техногенных отходов. Дополнительным преимуществом такого карбонатного выщелачивания скандия является использование для карбонизации отходящих топочных газов, представленных преимущественно углекислым газом.

Попутно при карбонатном выщелачивании скандия из КШ удается извлечь до 30% титана и до 50% циркония, которые могут быть выделены в отдельные концентраты и переработаны с получением своих ликвидных продуктов. Таким образом, карбонатное выщелачивание скандия из КШ при карбонизации пульпы отходящими топочными газами представляет собой часть комплексной переработки этого отхода с получением различных товарных продуктов.

Химия карбонатного выщелачивания скандия из КШ обусловлена образованием водорастворимых карбонатных анионных комплексов общей формулы $[Sc(CO_3)_n]^{(2n-3)-}$, среди которых в литературе описаны комплексы состава: $[Sc(CO_3)_2]^-$, $[Sc(CO_3)_3]^{3-}$ и $[Sc(CO_3)_4]^{5-}$ [12]. Растворимость комплексных карбонатов скандия с щелочными металлами, натрием, калием, литием в карбонатных растворах достаточно высока [12], чтобы степень извлечения скандия из КШ в этом процессе достигала более 95%.

Однако приведенные значения степени извлечения скандия из КШ в процессе, предложенном в ИХТТ УрО РАН, невысоки и не превышают 20%, что, конечно, недостаточно для разработки эффективной технологической схемы переработки этого сырья. Очевидно, что причины такого поведения скандия в карбонатных растворах при сатурации пульпы углекислым газом обусловлены особенностями протекания химических реакций в многокомпонентных карбонатных гетерогенных системах жидкость – твердое – углекислый газ.

Цель работы – изучение химических особенностей процесса карбонатного выщелачивания скандия из КШ в гетерогенных системах с углекислым газом для разработки условий, способствующих повышению извлечения скандия в растворы выщелачивания.

Материалы и методы

В качестве исходных КШ использовали шламы «Богословского алюминиевого завода» филиала ОАО «Сибирско-Уральской алюминиевой компании» («БАЗ» филиал ОАО «СУАЛ») следующего состава, в % масс.: Al_2O_3 – 14,21, Fe_2O_3 – 41,5, CaO – 12,14, MgO – 1,6, SiO_2 – 9,75, Na_2O – 4,52, K_2O – 0,19, TiO_2 – 3,78, P_2O_5 – 0,76, S – 1,45 CO_2 – 11,1, Sc – 0,012, ∑Ln – 0,122. Фракционный состав КШ следующий, в % масс.: >180 мкм – 36,6; 125–180 мкм – 29,2; 90–125 мкм – 17,0; 63–90 мкм – 14,5; 45–63 мкм – 2,6; <45 мкм – 0,2. В работе использовали Na_2CO_3 и NaOH и баллонный углекислый газ квалификации «ч». Выщелачивание скандия из КШ водными растворами Na_2CO_3 проводили следующим образом. Навеску КШ помещали в термостатируемую ячейку, температура которой была задана условиями эксперимента.

Затем в ячейку приливали определенное количество раствора Na_2CO_3, в зависимости от условий эксперимента помещали в ультразвуковой излучатель и барботер CO_2. Для определения содержания скандия в растворе при заданном времени выщелачивания проводили отбор пульпы, ее фильтрование и анализировали методом эмиссионной спектроскопии с индукционно связанной плазмой на приборе JobniYvon Emission-JY 38 (Франция) в аналитической лаборатории «Институт «ГИНЦВЕТМЕТ». Для интенсификации процессов выщелачивания использовали ультразвуковой проточный аппарат, Булава-П модель УЗАП-3/22-ОП производства ОАО «Центр ультразвуковых технологии» г. Бийск.

Результаты и обсуждение

Данные РФА указывают на нахождение скандия в КШ в форме оксида Sc_2O_3. Для его перевода в водорастворимые анионные карбонатные комплексы необходимо сначала провести реакцию образования карбоната скандия, которая может быть записана следующим образом:

$$Sc_2O_3 + 3H_2CO_3 = Sc_2(CO_3)_3 + 3H_2O, \quad (1)$$

например, с Na_2CO_3:

$$Sc_2(CO_3)_3 + (n\text{-}3)\ Na_2CO_3 = = 2Na_{(2n-3)}[Sc(CO_3)_n]. \quad (2)$$

Результатом протекания этих двух реакций и будет образование растворимых в карбонатных растворах комплексов скандия. Прямая реакция между оксидом скандия и карбонатом натрия в карбонатно-щелочных растворах не протекает. Для проведения реакции (1) необходим небольшой избыток угольной кислоты в системе, который может быть обеспечен при сатурации пульпы CO_2 или при растворении CO_2 в карбонатно-щелочном растворе под давлением. Очевидно, что в обоих случаях введения CO_2 в систему будет протекать реакция нейтрализации избытка щелочи с образованием карбоната и далее бикарбоната щелочного металла. При проведении процесса с КШ, в которых избыток щелочи обусловлен в основном гидроксидом натрия, сатурация приводит к образованию карбоната и бикарбоната натрия. В такой системе образование карбоната скандия может быть записано следующим образом:

$$Sc_2O_3 + 6NaHCO_3 = = Sc_2(CO_3)_3 + 3Na_2CO_3 + 3H_2O. \quad (3)$$

Рассмотренные реакции указывают на отсутствие термодинамических запретов на выщелачивание скандия в карбонатные растворы при сатурации пульпы.

В таблице 1 представлены результаты по извлечению скандия из КШ в растворы карбоната натрия различной концентрации без корректировки растворов углекислым газом.

С ростом концентрации Na_2CO_3 степень извлечения скандия в выщелачивающий раствор проходит через максимум при концентрации Na_2CO_3 ~ 1 моль/л. Наличие максимума может быть объяснено повышением растворимости карбонатных комплексов скандия с ростом карбонатности раствора и вторичным осадкообразованием скандия в виде его оксикарбонатов с ростом pH исходного карбонатного раствора, обусловленного повышением концентрации карбоната натрия. В то же время степень извлечения скандия в растворы карбоната натрия не превышает 6–6,5%, что обусловлено, по-видимому, низким содержанием HCO_3^- групп, необходимых для протекания реакций (1) или (3).

При введении углекислого газа в процесс выщелачивания путем его барботажа через пульпу степень извлечения скандия в карбонатно-бикарбонатный раствор закономерно возрастает до 17,5% за 10 мин, что почти в 3 раза выше, чем при выщелачивании без барботажа CO_2 (таблица 2).

В отобранных для анализа пробах при стоянии наблюдали образование вторичного осадка, что отражено в примечании в таблице 2. Как показали дальнейшие исследования, содержание скандия в образующихся осадках не превышало 0,2%, а сам осадок по преимуществу содержал соединения алюминия.

Таблица 1.

Зависимость P_{Sc} от концентрации Na_2CO_3 при карбонатном выщелачивании КШ: время – 4 ч, Т : Ж = 1:5, Т = 50±5 °С; исходная концентрация Sc в КШ – 100 г/т

Table 1.

The dependence of the P_{Sc} vs Na_2CO_3 concentration under carbonate leaching from the R.M.: time – 4 hour, S : L = 1:5, T = 50±5 °C, initial Sc concentration – 100 g/t

№ п/п	m(КШ), г, g	V(Na_2CO_3), мл, ml	C(Na_2CO_3), М	C_{Sc}, мг/л mg/l	P_{Sc}, %
1	20,05	100	0,25	0,14	0,77
2	20,07	100	0,40	0,34	2,04
3	20,02	100	0,75	0,62	3,41
4	20,03	100	1,10	0,97	6,06
5	20,0	100	1,50	0,96	6,05
6	100,0	500	2,10	0,081	0,04

Таблица 2.

Зависимость P_{Sc} от времени при выщелачивании из КШ водным 1,0 М раствором Na_2CO_3 и барботаже CO_2 1,5 л/мин: Т : Ж = 1:5, Т = 70±5 °С, $C_{Sc\ исх.}$ – 100 г/т

Table 2.

The dependence of the P_{Al} vs time under leaching from the R.M. by 1,0 M aqueous solution of Na_2CO_3, and CO_2 bubbling 1,5 l/min: S : L = 1 : 5, T = 70±5 °C, $C_{Sc\ init.}$ – 100 g/t

Время, мин | Time, min	C_{Sc}, мг/л | C_{Sc}, mg/l	P_{Sc}, %	Примечание | Comment
1	0,76	3,8	Нет осадка | No sediment
2	0,76	3,8	Мало осадка | Small sediment
3	0,76	3,8	Увеличение объема осадка | Rise of sediment's volume
4	1,10	5,5	
5	1,40	7,0	Снижение объема осадка | Reduction of sediment's volume
7	1,90	9,5	
10	3,50	17,5	Мало осадка | Small sediment

Условия малого времени выщелачивания скандия из КШ при одновременной сатурации пульпы CO_2 были исследованы более подробно. Выщелачивание проводили в течение более длительного периода времени, а одну и ту же порцию шлама после промежуточной отмывки на фильтре от маточного раствора двумя порциями дистиллированной воды при Т : Ж = 1:1 и комнатной температуре выщелачивали дважды. В таблице 3 представлены полученные результаты, которые, с одной стороны, подтверждают данные таблицы 2 по повышению извлечения скандия в карбонатные растворы при сатурации пульпы, а с другой стороны, показывают наличие максимумов на кинетических кривых в области 20–35 мин проведения процесса на каждой ступени.

Таблица 3.

Зависимость P_{Sc} от времени при выщелачивании из КШ водным 1,2 М раствором Na_2CO_3 и барботаже CO_2. Условия выщелачивания: Т : Ж = 1:5, расход CO_2 -1,5 л/мин, Т = 70±5 °С, исходная концентрация скандия в КШ – 100 г/т

Table 3.

The dependence of the P_{Sc} vs the time under leaching from R.M. by aqueous 1,2 M solution of Na_2CO_3 and CO_2 bubbling. Conditions of leaching: S : L = 1 : 5, CO_2 flow rate – 1,5 l/min, T = 70±5 °C, initial Sc concentration in R.M. – 100 g/t

№ п/п.	1-я ступень			2-я ступень		
	Время, мин Time, min	C_{Sc}, мг/л C_{Sc}, mg/l	P_{Sc}, %	Время, мин Time, min	C_{Sc}, мг/л C_{Sc}, mg/l	P_{Sc}, %
1	3	0,56	2,8	3	1,20	6,0
2	5	0,74	3,7	5	0,72	3,6
3	15	2,40	12,0	10	0,92	4,6
4	20	2,70	13,5	15	1,40	7,0
5	25	3,30	16,5	20	1,30	6,5
6	30	3,40	17,0	25	1,20	6,0
7	35	3,40	17,0	30	0,90	4,5
8	50	2,00	10,0	45	1,10	5,5
9	65	0,75	3,75	60	1,40	7,0

Снижение концентрации скандия в растворе в процессе выщелачивания при сатурации пульпы обусловлено, по-видимому, вторичным осадкообразованием, которое уже не может быть причиной щелочного гидролиза, как это наблюдается в случае с концентрированными растворами карбоната натрия.

Для объяснения наблюдаемого эффекта было высказано предположение о протекании процесса гидролитической полимеризации соединений скандия в карбонатных растворах в присутствии протона угольной кислоты. Учитывая низкую концентрацию скандия в растворах при выщелачивании из КШ в описанных выше условиях, трудно предполагать гомополимеризацию только скандия.

Однако данные таблицы 2, указывающие на переход в растворы наряду со скандием алюминия в значительно больших количествах, позволяют предположить образование смешанных гидролитических полимеров между алюминием и скандием в процессе более длительного выщелачивания при сатурации пульпы КШ.

Реакцию гидролитической полимеризации скандия в карбонатных растворах в присутствии протона угольной кислоты можно представить следующей упрощенной схемой:

$$[Sc(CO_3)_2]^- + H^+ \rightarrow [(CO_3)ScCO_3H] \quad (4)$$

$$[(CO_3)ScCO_3\,H] + [HO_3CSc(CO_3)] \rightarrow$$

$$\rightarrow [(CO_3)ScCO_2 - O - O_2\,CSc(CO_3)] + H_2O \quad (5)$$

$$[(CO_3)ScCO_2 - O - O_2CSc(CO_3)] \rightarrow$$

$$\rightarrow [(CO_3)Sc - O - Sc(CO_3)] + 2CO_2\uparrow \quad (6)$$

а реакцию образования смешанных полимеров скандия и алюминия следующим образом:

$$[Sc(CO_3)_2]^- + H^+ \rightarrow [(CO_3)ScCO_3H] \quad (7)$$

$$[Al(CO_3)_2]^- + H^+ \rightarrow [(CO_3)AlCO_3H] \quad (8)$$

$$[(CO_3)ScCO_3H] + [HO_3CAl(CO_3)] \rightarrow$$

$$\rightarrow [(CO_3)ScCO_2 - O - O_2CAl(CO_3)] + H_2O \quad (9)$$

$$[(CO_3)ScCO_2 - O - O_2\,CAl(CO_3)] \rightarrow$$

$$\rightarrow [(CO_3)Sc - O - Al(CO_3)] + 2CO_2\uparrow \quad (10)$$

Необходимо отметить, что это одна из возможных схем полимеризационных превращений, в которой в ходе поликонденсации выделяются как молекулы воды, так и молекулы углекислого газа. В пользу такой схемы свидетельствует описанное в литературе [13, с. 80] соединение основного карбоната скандия состава $Sc_2O(CO_3)_2$. Однако эта схема достаточно наглядно демонстрирует, как может осуществляться в карбонатных растворах переход от растворимого карбонатного комплекса к нерастворимому полиядерному соединению в присутствии CO_2 или, если быть точнее, в присутствии протона угольной кислоты H_2CO_3.

Для подтверждения высказанных предположений были проведены исследования по устойчивости щелочного раствора алюминия, полученного при выщелачивании КШ 4,0 М водным раствором NaOH, содержащим 0,61 г/л Al, при барботаже через него CO_2 (рисунок 1).

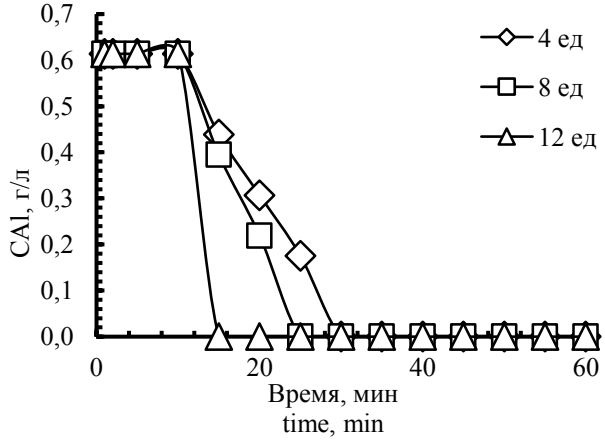


Рисунок 1. Кинетика осадкообразования Al при барботаже CO_2 через раствор выщелачивания КШ 4,0 М водным раствором NaOH, содержащим 0,61 г/л Al, при расходе CO_2, л/мин: 0,5 – 4 ед.; 1,0 – 8 ед.; 1,5 – 12 ед.

Figure 1. Kinetic of Aluminum precipitation under CO_2 bubbling through 4,0 M NaOH aqueous solution, containing 0,61 g/l Al. Flow rate CO_2, l/min: 0,5 – 4 unit; 1,0 – 8 unit; 1,5 – 12 unit

При расходе CO_2 1,5 л/мин уже через 10 мин алюминий в равновесном водном растворе не обнаружен. На всех представленных кинетических зависимостях выделяется начальный участок, на котором в течение 10 мин не наблюдается никакого изменения концентрации Al в растворе. Этот период связан с нейтрализацией избытка щелочи угольной кислотой. В таблице 4 представлены данные по изменению концентрации гидроксида, карбоната и бикарбоната натрия во времени для кривой 12 ед. на рисунке 1.

Таблица 4.

Изменение концентрации NaOH, Na_2CO_3 и $NaHCO_3$ при барботаже 1,5 л/мин CO_2 через алюминатный раствор выщелачивания КШ

Table 4.

The variation of NaOH, Na_2CO_3 and $NaHCO_3$ concentrations under 1,5 l/min CO_2 bubbling through aluminate solution of R.M. leaching

Время, мин Time, min	Концентрация, М Concentration, M		
	NaOH	Na_2CO_3	$NaHCO_3$
0	2,6	0,5	0,0
1	1,4	1,1	0,0
2	1,2	1,2	0,0
5	0,8	1,2	0,4
10	0,0	1,4	0,8
15	0,0	1,2	1,2
20	0,0	1,0	1,6

После нейтрализации щелочи и появления избытка протонов угольной кислоты начинает протекать процесс гидролитической полимеризации с выделением осадка алюминия. Для определения химической формы нахождения алюминия в осадках был получен спектр РФА, представленный на рисунке 2.

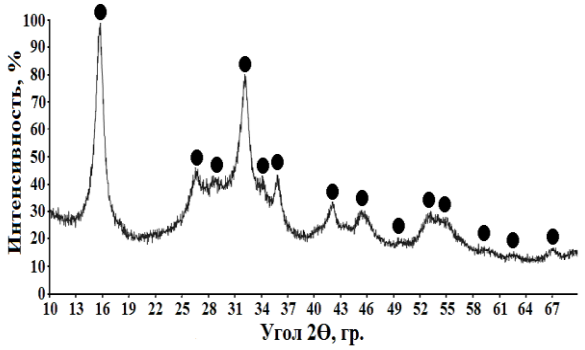


Рисунок 2. Спектр РФА осадка, полученного при осаждении Al из 4,0 М водного раствора NaOH при барботаже 1,5 л/мин CO_2: ● – Давсонит $NaAlCO_3(OH)_2$, карта JCPDS № 45-1359

Figure 2. RFA-spectra of sediment, obtaining during Al precipitation from 4,0 M aqueous solution of NaOH under 1,5 l/min CO_2 bubbling: ● – Dawsonite $NaAlCO_3(OH)_2$, card JCPDS № 45-1359

Значительное уширение всех сигналов спектра свидетельствует о высокой доле аморфных частиц осадка. Результаты РФА указывают на наличие только одной рентгеноаморфной фазы в составе осадка, соответствующей согласно данным кристаллографической базы JCPDS № 45-1359 гидроалюмокарбонату натрия – $NaAlCO_3(OH)_2$. В то же время фазы, относящиеся к $Al(OH)_3$ и $Al_2O(CO_3)_2$, не обнаружены. В литературе [14] приводится несколько иной механизм осаждения гидроалюмокарбоната натрия, заключающийся во взаимодействии гидроксида алюминия с бикарбонатом натрия с образованием $NaAlCO_3(OH)_2$ при pH водной фазы ниже 10 и увеличении в ней концентрации ионов HCO_3^-. При гидролитическом разложении $NaAlCO_3(OH)_2$ получается псевдобемит ($AlOOH \cdot H_2O$) и аморфный $Al(OH)_3$.

Однако в отсутствие второго компонента соединений скандия для полимеризационных превращений, описанных уравнениями (7)–(10) не наблюдается образования смешанного полимера алюминия и скандия. В то же время наличие двух гидроксильных групп в составе $NaAlCO_3(OH)_2$ делает потенциально возможным образование смешанного сополимера со скандием.

Заключение

Выщелачивание скандия из КШ водными растворами карбоната натрия в отсутствие углекислого газа протекает незначительно и сопровождается щелочным гидролизом скандия при высоких значениях pH в концентрированных растворах Na_2CO_3. При сатурации карбонатной пульпы КШ углекислым газом протекает гидролитическая полимеризация гидроксокарбонатов скандия и алюминия в присутствии протона угольной кислоты. Оба процесса (щелочного гидролиза и гидролитической полимеризации) сопровождаются образованием вторичных осадков и снижением выхода скандия в карбонатный раствор. Для повышения извлечения скандия необходимо проводить карбонатное выщелачивание в условиях, исключающих или минимизирующих образование вторичных осадков, особенно при сатурации пульпы углекислым газом.

ЛИТЕРАТУРА

1 Сабирзянов Н.А., Яценко С.П. Гидрохимические способы комплексной переработки боксита. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 385 с.

2 Трушко В.Л., Утков В.А., Бажин В.Ю. Актуальность и возможности полной переработки красных шламов глиноземного производства // Записки Горного института. 2017. Т. 227. С. 547–553.

3 Пягай И.Н., Кожевников В.Л., Пасечник Л.А., Скачков В.М. Переработка отвального шлама глиноземного производства с извлечением скандиевого концентрата // Записки горного института. 2016. Т. 218. С. 225–232.

4 Deelwal K. Evaluation of characteristic properties of red mud for possible use as a geotechnical material in civil construction // International Journal of Advances in Engineering & Technology. 2014. V. 7. № 3. P. 1053–1059.

5 Raghavan P.K.N. Recovery of metal values from red mud // Light metals. 2011. P. 23–26.

6 Кожевников В.Л., Водопьянов А.Г., Паньков В.А., Кузьмин Б.П. Совместная комплексная переработка бокситов и красных шламов // Цветные металлы. 2013. № 12. С. 36–38.

7 Иванов А.И., Кожевников Г.Н., Ситдиков Ф.Г., Иванова Л.П. Комплексная переработка бокситов. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 180 с.

8 Пат. № 2483131, RU, C22B 59/00, 3/04, 3/20, C01F 17/00. Способ получения оксида скандия из красного шлама / Пягай И.Н., Яценко С.П., Пасечник Л.А. и др. № 2011153456/02; Заявл. 2011153456; Опубл. 27.05.2013, Бюлл. № 15.

9 Пат. № 2245371, RU, C21B 3/04, 13/00, 34/12, 59/00. Способ переработки красного шлама глиноземного производства /Е.А. Коршунов, С.П. Буркин, Ю.Н. Логинов, и др. № 2003103262/02; Заявл. 2003103262; Опубл. 12.04.2005, Бюлл. № 32.

10 Анашкин В.С., Фомин Э.С., Яценко С.П. Разработка технологических схем безотходной и комплексной переработки низкокачественных бокситов и красных шламов // Металлургия легких металлов, проблемы и перспективы: тезисы докладов II Международной Научно-практической Конференции, Москва, 22–23 ноября 2006 г. М., 2006. С. 41–45.

11 Степанов С.И., Маунг Маунг Аунг, Бояринцев А.В., Гозиян А.В. и др. О комплексной переработке красных шламов // Актуальные вопросы получения и применения РЗМ и РМ-2017: сборник материалов международной научно-практической конференции 21–22 июня 2017 г. М.: ОАО «Институт «ГИНЦВЕТМЕТ», 2017. С. 278–281.

12 Комиссарова Л.Н., Шацкий В.М., Пушкина Г.Я. и др. Соединения редкоземельных элементов. Карбонаты, оксалаты, нитраты, титанаты. М.: Наука, 1984. 235 с.

13 Комиссарова Л.Н. Неорганическая и аналитическая химия скандия. М.: Эдиториал УРСС. 2001. 512 с.

14 Томилов Н.П., Бергер А.С., Бойкова А.И. Об условиях образования гидроалюмокарбонатов при взаимодействии алюминия с растворами карбонатов щелочных металлов // Журнал неорганической химии. 1969. Т. 14. № 3. С. 674–680.

REFERENCES

1 Sabirzyanov N.A., Yatsenko S.P. Gidrohimicheskie sposoby kompleksnoj perera-botki boksita [Hydrochemical methods for bauxite complexing processing]. Yekaterinburg, Ural. Otd. Russ. Akad. Nauk, 2006. 385 p. (in Russian).

2 Trushko V.L., Utkov V.A., Bazhin V.Y. Topicality and possibilities for complete processing of red mud of aluminous production. *Zapiski Gornogo Instituta*. [Proceedings of Mining Institute]. 2017. vol. 227. pp. 547–553. (in Russian).

3 Pyagai I.N., Kozhevnirov V.L., Pasechnik L.A., Skachkov V.M. The Processing of red mud of aluminous production with extraction of Scandium concentrate. *Zapiski Gornogo Instituta*. [Proceedings of Mining Institute] 2016. vol. 218. pp. 225–232. (in Russian).

4 Deelwal K. Evaluation of characteristic properties of red mud for possible use as a geotechnical material in civil construction. International Journal of Advances in Engineering & Technology. 2014. vol. 7. no. 3. pp. 1053–1059.

5 Raghavan P.K.N. Recovery of metal values from red mud. Light metals. 2011. pp. 23–26.

6 Kozhevnikov V.L., Vodopyanov A.G., Pankov V.A., Kuzmin B.P. The joint complexing reprocessing of bauxite and red mud. *Zvetnye metalli* [Non-ferrous metals]. 2013. no. 12. pp. 36–38. (in Russian).

7 Ivanov A.I., Kozhevnirov V.L., Sitdikov F.G., Ivanova L.P. The compexing reprocessing of bauxite. Yekaterinburg, Ural. Otd. Russ. Akad. Nauk, 2003. 180 p. (in Russian).

8 Pyagai I.N., Yatsenko S.P., Pasechnik L.A. et al. Sposob polucheniya oksida skandiya iz krasnogo shlama [The Method of Scandium oxide production from red mud]. Patent RF, no. 2483131, 2013.

9 Korshunov E.A., Burkin S.P., Loginov Yu.N. et al. Sposob pererabotki krasnogo shlama glinozemnogo proizvodstva [The Method of red mud reprocessing]. Patent RF, no. 2245371, 2005.

10 Anashkin V.S., Fomin E.S. Yatsenko S.P. The Workout of technological circuitry of non-polluting and complexing reprocessing of low-quality bauxite and red muds. Metallurgiya legkih metallov, problemy i perspektivy [Metallurgy of lights metals: problems and opportunity: the abstracts of proceedings of II International scientific-practical conference]. Moscow, 2006. pp.41–45. (in Russian).

11 Stepanov S.I., Maung Maung Aung, Boyarintsev A.V., Gosiyan A.V. et al. The complexing processing of red mud. Aktual'nye voprosy polucheniya i primeneniya RZM i RM 2017 [The Problems of Manufacture of R.E.M. and R.M-2017: proceedings of the International scientific-practical conference]. Moscow, JSC «Institute «GINTSVETMET», 2017. pp. 278–281. (in Russian).

12 Komissarova L.N., Shatskyi V.M., Pushkina G.Ya. et. al. Soedineniya redkozemel'nyh ehlementov. Karbonaty, oksalaty, nitraty, titanaty [Compounds of Rare Earth Elements. Carbonates, oxalates, nitrates, titanates]. Moscow, Nauka, 1984. 235 p. (in Russian).

13 Komissarova L.N. Neorganicheskaya i analiticheskaya himiya skandiya [Inorganic and Analytical Chemistry of Scandium]. Moscow, Editorial URSS, 2001. 512 p. (in Russian).

14 Tomilov N.P., Berger A.S., Boykova A.I. About conditions of hydroalumocarbonates formation under interaction Aluminum with solutions of alkaline metals carbonate. *Zhurnal neorganicheskoi chimii* [J. of Inorganic Chemistry]. 1969. vol. 14. no. 3. pp. 674–680. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Сергей И. Степанов профессор, кафедра технологии редких элементов и наноматериалов на их основе, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Миусская пл., 9, г. Москва, 125047, Россия, chao_step@mail.ru

Маунг Маунг Аунг аспирант, кафедра технологии редких элементов и наноматериалов на их основе, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Миусская пл., 9, г. Москва, 125047, Россия, polluxaung@gmail.com

Хтет Йе Аунг аспирант, кафедра технологии редких элементов и наноматериалов на их основе, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Миусская пл., 9, г. Москва, 125047, Россия, htetyeaung61058@gmail.com

Александр В. Бояринцев доцент, кафедра технологии редких элементов и наноматериалов на их основе, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Миусская пл., 9, г. Москва, 125047, Россия, boyarin_sanya@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Сергей И. Степанов написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Маунг Маунг Аунг обзор литературных источников по исследуемой проблеме

Хтет Йе Аунг провёл эксперимент, выполнил расчёты

Александр В. Бояринцев консультация в ходе исследования

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 03.10.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 27.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Sergei I. Stepanov professor, technology of rare elements and nanomaterials based on them department, D. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia, Miusskaya sq., 9, Moscow, 125047, Russia, chao_step@mail.ru

Maung Maung Aung graduate student, technology of rare elements and nanomaterials based on them department, D. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia, Miusskaya sq., 9, Moscow, 125047, Russia, polluxaung@gmail.com

Htet Ye Aung graduate student, technology of rare elements and nanomaterials based on them department, D. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia, Miusskaya sq., 9, Moscow, 125047, Russia, htetyeaung61058@gmail.com

Aleksander V. Boyarintsev associate professor, technology of rare elements and nanomaterials based on them department, D. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia, Miusskaya sq., 9, Moscow, 125047, Russia, boyarin_sanya@mail.ru

CONTRIBUTION

Sergei I. Stepanov proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Maung Maung Aung review of the literature on an investigated problem

Htet Ye Aung conducted an experiment, performed computations

Aleksander V. Boyarintsev consultation during the study

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.3.2018

ACCEPTED 11.27.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 678.5 : 504.064.45

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-356-360

Оценка эффективности иммобилизации активного ила на композитных материалах «полиэтилен:полисахариды»

Любовь Н. Студеникина [1] lubov-churkina@yandex.ru
Юлия Н. Дочкина [1] dochkina.j.n@yandex.ru
Мария В. Шелкунова [1] mar.sher2010@yandex.ru
Владимир И. Корчагин [1] kvi-vgta@rambler.ru

[1] Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Целью работы является изучение иммобилизационной способности новых композитных материалов на основе полиэтилена (ПЭ) и полисахаридов (ПС) по отношению к биоценозу активного ила (АИ). Объектами исследования были выбраны композитные материалы следующего состава: ПЭ:микроцеллюлоза чистая (МЦч), ПЭ:микроцеллюлоза отработанная (МЦо), ПЭ:крахмал (К), при соотношении компонентов ПЭ:ПС = 70:30 мас.%. В задачи исследования входило определение основных морфологических показателей новых композитов (пористость, шероховатость, плотность), оценка гидрохимического и гидробиологического состояния АИ (иловый индекс, массовая концентрация ила, видовой состав) до фиксации на композитах, оценка иммобилизационной способности исследуемых материалов по привесу биомассы, контроль состояния АИ после фиксации. В результате испытаний установлено, что композит состава ПЭ:МЦч имеет плотность 410 кг/м^3, пористость 60%, шероховатость 3,5; композит состава ПЭ:МЦо имеет плотность 590 кг/м^3, пористость 40%, шероховатость 2,0; композит состава ПЭ:К имеет плотность 640 кг/м^3, пористость 50%, шероховатость 2,5; при этом образец сравнения - чистый ПЭ – имеет показатели: плотность 860 кг/м^3, пористость 0%, шероховатость 0. Для определения иммобилизационной способности новых композитных материалов был использован лабораторный опытный иммобилизатор, представляющий собой емкость, заполненную на 70% полезного объема суспензией активного ила и на 30% образцами плавающей загрузки. Иммобилизация проводилась в условиях аэрации в течение 2, 4, 8, 12, 24, 48, 72 часа. В результате испытаний установлено, что образец состава ПЭ:МЦч за 72 часа иммобилизации показал привес биомассы порядка 12%, образец состава ПЭ:МЦо - 5%, ПЭ:К - 7%, а чистый ПЭ - 3%. Состояние организмов АИ после фиксации оценивали по смывам с иммобилизованных образцов, в результате микроскопирования смывов установлено наличие во всех образцах живых представителей биоценоза АИ, но отличающихся численностью: для образца состава ПЭ:МЦч – многочисленное, ПЭ:МЦо, ПЭ:К – среднечисленное, чистый ПЭ- малочисленное. Представляют интерес дальнейшие исследования по модификации синтетической полиолефиновой матрицы функциональными наполнителями, в том числе из ряда полисахаридов, позволяющими повысить сродство материала-носителя с внеклеточным матриксом активного ила.

Ключевые слова: композитные материалы, загрузка биофильтра, иммобилизация, очистка сточных вод

Evaluation of the effectiveness of immobilization of activated sludge on composite materials “polyethylene:polysaccharides”

Lubov N. Studenikina [1] lubov-churkina@yandex.ru
Julia N. Dochkina [1] dochkina.j.n@yandex.ru
Mariya V. Shelkunova [1] mar.sher2010@yandex.ru
Vladimir I. Korchagin [1] kvi-vgta@rambler.ru

[1] Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The aim of this work is to study the immobilization ability of new composite materials based on polyethylene (PE) and polysaccharides (PS) in relation to the biocenosis of activated sludge (AS). The objects of the study were selected composite materials of the following composition: PE : pure microcellulose (MCc), PE : waste microcellulose (MCw), PE : starch (ST), at a ratio of components PE : PS = 70:30 wt.%. The objectives of the study were to determine the main morphological parameters of new composites (porosity, roughness, density), assessment of hydrochemical and hydrobiological state of AS (silt index, mass concentration of silt, species composition) until it locks into composites, assessment of the immobilization ability of the studied materials by biomass weight gain, monitoring of the state of AS after fixing. The tests found that the composite of structure of PE : MCc of has a density of 410 kg/m^3 and a porosity of 60%, the roughness of 3.5; the composite of structure of PE : MCw has a density of 590 kg/m^3 and a porosity of 40%, roughness of 2.0, composite of structure of PE : ST has a density of 640 kg/m^3 and a porosity of 50%, the roughness of 2.5; wherein the reference sample - PE - has the parameters: density 860 kg/m^3 and a porosity of 0%, roughness 0. To determine the immobilization capacity of the new composite materials, a laboratory experimental immobilizer was used, which is a container filled with 70% of the useful volume of the active sludge suspension and 30% of the floating loading samples. Immobilization was carried out under aeration conditions during 2, 4, 8, 12, 24, 48, 72 hours. As a result of tests it is established that the sample of structure of PE : MCc for 72 hours of immobilization showed a gain of biomass of the order of 12%, the sample of structure of PE : MCw - 5%, the sample of structure of PE : ST – 7%, PE – 3%. The condition of the organisms AS after fixing was evaluated by washings with immobilized samples, as a result of microscopy of washouts, the presence of living representatives of the biocenosis of AS in all samples was established, but they differ in number: for the sample of structure of PE : MCc - numerous, PE : MCw, PE : ST - average number, PE - small number. Further studies on the modification of the synthetic polyolefin matrix by functional fillers, including those from a number of polysaccharides, are of interest, allowing to increase the affinity of the carrier material with the extracellular matrix of activated sludge.

Keywords:composite material, loading the biofilter, immobilization, biological wastewater treatment

Для цитирования

Студеникина Л.Н.., Дочкина Ю.Н., Шелкунова М.В., Корчагин В.И. Оценка эффективности иммобилизации активного ила на композитных материалах «полиэтилен:полисахариды» / /Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 356–360. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-356-360

For citation

Studenikina L.N., Dochkina Ju.N., Shelkunova M.V., Korchagin V.I. Evaluation of the effectiveness of immobilization of activated sludge on composite materials “polyethylene:polysaccharides”. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 356–360. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-356-360

Введение

В связи с непрерывно возрастающим антропогенным воздействием на окружающую среду количество загрязняющих веществ, поступающих в природные объекты, постоянно увеличивается. Основными источниками крупномасштабного поступления ксенобиотиков в водные компоненты биосферы являются сбросы производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод. Одним из самых распространенных способов удаления из сточных вод загрязнителей является биохимическая очистка с помощью активного ила (АИ).

Традиционно применяемые установки биологической очистки сточных вод предусматривают обработку стоков суспензией АИ (свободноплавающим илом). Такой способ малоэффективен при постоянно возрастающей нагрузке на очистные сооружения, а также влечет за собой необходимость утилизации большого количества избыточного АИ, образование которого вынуждает природопользователя проводить тщательную доочистку биологически очищенных сточных вод перед их сбросом или дальнейшей обработкой.

В ходе реконструкции станций очистных сооружений все чаще встречается применение на стадии биологической очистки плавающей в кипящем слое загрузки с целью иммобилизации (фиксации) на ней организмов АИ, что приводит к повышению эффективности очистки и снижению количества осадка избыточного ила. Однако материалы, используемые для производства носителей биомассы, имеют ряд недостатков: низкая адсорбционная способность, дороговизна, недолговечность, повышенные эксплуатационные требования, которые неизбежно влекут за собой дополнительные эксплуатационные затраты, а по истечении короткого промежутка времени – снижение эффективности очистки.

В качестве носителя биомассы возможно использование керамзита, кварцевого песка, активированного угля, полиэтилена и полипропилена и пр. При этом гранулированный вид материалов-носителей, имеющих плотность меньше плотности сточных вод, позволяет обеспечить создание кипящего слоя, что приводит к увеличению площади контакта между микроорганизмами-деструкторами и загрязнителями [1].

В последнее время все больше внимания уделяется разработке способов повышения иммобилизационной способности биологических загрузок путем изменения их геометрической формы, структуры и состава. Так, например, наполнение полиэтиленовой матрицы микроцеллюлозой позволяет увеличить биологическую адсорбционную емкость материала до 30% [2]. В исследованиях [3–6] обосновано внедрение «ершей» и волокнисто-пористых носителей в аэротенки, что позволяет повысить концентрацию биомассы, снизить ее вымываемость из биологических очистных сооружений, не оказывая влияния на видовой состав биоценоза АИ. В работе [7] в качестве носителей микрофлоры предлагается использовать полиамидные волокнистые материалы (нейлон), что позволит создать альтернативу полиэтилену и полипропилену, повысить концентрацию ила в аэротенках относительно свободноплавающего биоценоза, проводить воздушную регенерацию носителей. В работе [8] изучено использование сетчатых капроновых носителей биомассы и установлено, что сетчатый вид позволяет организмам АИ внедриться непосредственно в структуру носителя, однако автор отмечает, что инертность капронового материала приводит к обеднению видового состава АИ, снижению численности микроорганизмов, прекращению роста в случае недостатка питательных веществ в биореакторе.

Разработка и внедрение новых материалов, обладающих иммобилизационной способностью, является перспективным направлением не только в очистке сточных вод, но и в обезвреживании газовых выбросов. Основными задачами при этом являются снижение стоимости носителей биомассы за счет использования вторичных сырьевых ресурсов и отходов различного производства (например, углеродсодержащих отходов – карбонизатов [9]), а также повышение эффективности очистки выбросов, так, например, установлено, что минеральные носители биомассы из фосфогипсов повышают эффективность обессеривания выбросов теплоэлектростанций [10].

В зарубежных исследованиях, направленных на повышение качества работы сооружений искусственной биологической очистки сточных вод, также прослеживается тенденция к использованию материалов с повышенными иммобилизационными свойствами [11].

Цель работы – установление влияния морфологических характеристик композиции «полиэтилен (ПЭ): полисахарид (ПС)» на эффективность иммобилизации микрофлоры АИ.

В задачи исследования входило определение основных морфологических показателей новых композитов (пористость, шероховатость, плотность), оценка гидрохимического и гидробиологического состояния АИ (иловый индекс, массовая концентрация ила, видовой состав) до фиксации на композитах, оценка иммобилизационной способности исследуемых материалов по привесу биомассы, контроль состояния АИ после фиксации.

Материалы и методы

Объектами исследования были выбраны новые композитные материалы следующего состава: ПЭ:микроцеллюлоза чистая (МЦч), ПЭ:микроцеллюлоза отработанная (МЦо), ПЭ:крахмал (К), при соотношении компонентов ПЭ:ПС = 70:30 мас.%. Отработанная микроцеллюлоза – отход производства растительных масел, содержащий в составе жирные кислоты, воск и др. [2]. В качестве образца для сравнения был выбран чистый полиэтилен, из которого в настоящее время производится большинство представленных на рынке загрузок для биологической очистки сточных вод.

Морфологические свойства изучаемых материалов были определены в соответствии с утвержденными методиками. Плотность композитов определяли по ГОСТ 15139-69. Шероховатость поверхности оценивали по отношению максимальной и минимальной толщины образца с учетом ГОСТ 2789-73. Определение пористости проводили по стандартной методике расчета через массы образца в насыщенном водой и сухом состоянии. Гидрохимические показатели проб АИ определяли согласно «Методике определения массовой концентрации активного ила» ФР 1.31.2008.04397. Видовое разнообразие организмов АИ было определено электронным микроскопированием с использованием «Рекомендаций по проведению гидробиологического контроля на сооружениях биологической очистки», «Атласа Академии наук СССР «Фауна аэротенков», «Краткого определителя водных беспозвоночных животных». Прирост биомассы АИ определяли весовым методом с использованием аналитических весов.

Результаты и обсуждение

Результаты оценки морфологических свойств новых композитов представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Морфологические характеристики новых композитных материалов

Table 1.

Morphological characteristics of the new composite materials

Показатель | Indicator	ПЭ: МЦч PE : MCc	ПЭ: МЦо PE : MCw	ПЭ: К PE : ST	ПЭ PE
Пористость, % (Porosity, %)	60	40	50	0,0
Шероховатость поверхности (Surface roughness)	3,5	2,0	2,5	0,0
Плотность, кг/м^3 (Density, kg / m^3)	410	590	640	860

Важнейшим условием получения достоверных результатов исследования эффективности иммобилизации АИ на новых композитных материалах является использование качественной биомассы. В работе использовали АИ, имеющий иловый индекс 95 см^3/1 г ила и массовую концентрацию 5,2 г/дм^3. В результате гидробиологического анализа было установлено, что АИ визуализируется как хорошо сформированный плотный хлопок бактериальной слизи. Видовое разнообразие АИ представлено основными укрупненными группами таких организмов, как прикрепленные инфузории, коловратки, тихоходки, нематоды, раковинные амебы, нитчатые бактерии и др. Результаты гидробиологического контроля АИ согласуются с известными данными [12].

Для определения иммобилизационной способности новых композитных материалов был использован лабораторный опытный иммобилизатор, представляющий собой емкость, заполненную на 70 % полезного объема суспензией АИ и на 30% образцами плавающей загрузки. Иммобилизация проводилась в условиях аэрации в течение 2, 4, 8, 12, 24, 48, 72 ч. Оценка эффективности иммобилизации проводилась сравнением привеса после высушивания до постоянной массы образца с иммобилизованной биомассой. Высушивание иммобилизованных образцов проводилось в сушильном шкафу при температуре 50 °Св течение 120 мин. Результаты эффективности проведенной иммобилизации на исследуемых материалах представлены на рисунке 1.

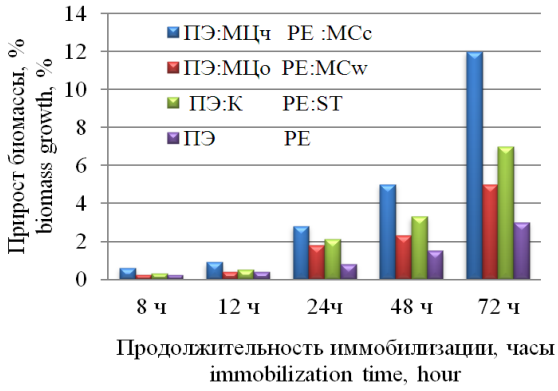


Рисунок 1. Оценка эффективности иммобилизации АИ на композитных материалах

Figure 1. Evaluation of the effectiveness of immobilization of activated sludge on composite materials

Следует отметить, что при продолжительности иммобилизации менее 8 ч не наблюдалось привеса биомассы у всех исследуемых образцов.

Не менее важным показателем эффективности иммобилизации АИ является оценка состояния организмов после фиксации. Для того чтобы осуществить оценку уже иммобилизованных микроорганизмов техникой микроскопирования, были сделаны смывы дистиллированной водой с каждого вида загрузки. В смывной воде с плавающей загрузки из композитного материала ПЭ: МЦч отмечено значительное количество живых подвижных микроорганизмов, отчетливо видна микробная слизь. Смывы с плавающей загрузки состава ПЭ:МЦо и ПЭ:К характеризуются среднечисленным содержанием живых подвижных микроорганизмов, незначительным количеством микробной слизи. В смыве образца из чистого ПЭ обнаружены единичные представители биоценоза.

Новые композитные материалы с иммобилизованным биоценозом представлены на рисунке 2.

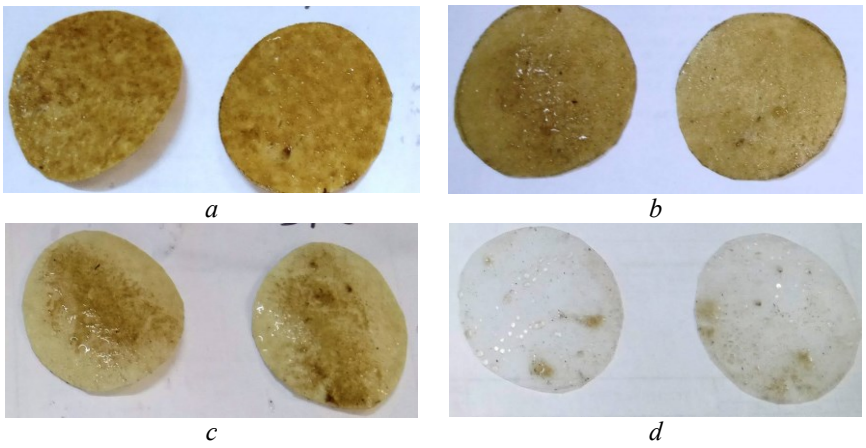


Рисунок 2. Образцы композитных материалов с иммобилизованным биоценозом: *a* – ПЭ:МЦч; *b* – ПЭ:МЦо; *c* –ПЭ:К; d – ПЭ

Figure 2. Samples of composite materials with immobilized biocenosis: *a* – PE:MCc; *b* – PE:MCw; *c* – PE:ST; d – PE

Заключение

На основании анализа полученных данных об эффективности иммобилизации биоценоза АИ можно утверждать, что наилучшие результаты показывает композитный материал ПЭ:МЦч, что обусловлено высокоразвитой структурой материала, шероховатостью поверхности, наличием гидрофильного наполнителя.

Представляют интерес дальнейшие исследования по модификации синтетической полиолефиновой матрицы функциональными наполнителями, в том числе из ряда полисахаридов, позволяющими повысить сродство материала-носителя с внеклеточным матриксом активного ила.

ЛИТЕРАТУРА

1 Корчевская Ю.В., Кадысева А.А., Горелкина Г.А., Маджугина А.А. и др. Применение псевдоожиженного слоя в биологической очистке сточных вод // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 2. С. 67–71.

2 Студеникина Л.Н., Корчагин В.И., Шелкунова М.В., Дочкина Ю.Н. и др. Модификация полиэтилена микроцеллюлозой для повышения его иммобилизационной способности // Вестник ВГУ. 2018. № 3. С. 23–29.

3 Маркевич Р.М., Гребенчикова И.А., Роденко А.В., Вострова Р.Н. Особенности биоценоза активного ила, находящегося в свободном состоянии и иммобилизованного на полимерном носителе // Труды БГТУ. 2013. № 4. С. 219–223.

4 Давлетяров Р.Р., Бобыкин Д.В. Повышение надежности системы очистки сточных вод // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2013. № 2. С. 79–83.

5 Литти Ю.В., Некрасова В.К., Куликов Н.И., Симанькова М.В. и др. Обнаружение анаэробных процессов и микроорганизмов в иммобилизованном активном иле станции очистки сточных вод с интенсивной аэрацией // Микробиология. 2013. № 6. С. 672.

6 Ножевникова А.Н., Литти Ю.В., Куликов Н.И., Зубов М.Г. Новая технология очистки сточных вод с иммобилизацией активного микробного ила и эффективным удалением азота с участием анаммоксбактерий, реализованная на объектах зимней олимпиады Сочи-2014 г. // Биотехнология и качество жизни: Международная научно-практическая конференция. 2014. С. 410–411.

7 Нгуен Туан Ань, Кульков В.Н., Солопанов Е.Ю. Использование синтетических материалов на основе полиамидных волокон для интенсификации биологической очистки сточных вод // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2018. Т. 8. № 1. С. 168–174.

8 Долженко Л.А. Иммобилизация активного ила на носителях биореактора в условиях нитрификации и денитрификации // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2016. № 4. С. 150–157.

9 Калашникова М.Е., Белик Е.С. Исследование способов адсорбционной иммобилизации углеводородокисляющих микроорганизмов на карбонизате // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика, 2013. Т.1. С. 76–84.

10 Chernysh Y., Plyatsuk L. The carrier development for biofilms on the basis of technogenic wastes for pollutants treatment in the environmental protection technologies // Lecture Notes in Mechanical Engineering Volume. Part F2. 2019. P. 422–432.

11 Bidinger S.C., Dzedzig B. Mutag BioChip, the ultimate MBBR carrier for biological wastewater treatment. URL: http://www.mutag-biochip.com

12 Жердев В.Н., Студеникина Л.Н., Шелкунова М.В. Видовой состав активного ила из аэротенков ЛОС // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). 2016. № 1 (2). С. 34–39.

REFERENCES

1 Korchevska Y.V., Kudysheva A.A., Gorelkin G.A., Magagine A.A. et al. the Use of fluidized bed biological wastewater treatment. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai state agrarian University]. 2016. no. 2. pp. 67–71. (in Russian).

2 Studenikina L.N., Korchagin V.I., Shelkunova M.V., Dochkina Yu.N. et al. The Modification of polyethylene with microcellulose to increase its immobilization ability. *Vestnik VGU* [Vestnik VSU]. 2018. no. 3. pp. 23–29. (in Russian).

3 Markevich R.M., Grebenshikova I.A., Rodenko A.V., Vostrova R.N. Features of a biocenosis of active silt, in the free state and immobilized on the polymeric media. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU]. 2013. no. 4. pp. 219–223. (in Russian).

4 Davletyarov R.R., Bobykin D.V. improving the reliability of the wastewater treatment system. *Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefti i nefteproduktov* [Science and technology of pipeline transportation of oil and oil products]. 2013. no. 2. pp. 79–83. (in Russian).

5 Iitti Yu.V., Nekrasova V.K., Kulikov N.I., Simankova M.V. et al. Detection of anaerobic processes and microorganisms in immobilized activated sludge of wastewater treatment with intensive aeration. *Mikrobiologiya* [Microbiology]. 2013. no. 6. pp. 672. (in Russian).

6 Nozhevnikova A.N., Iitti Yu.V., Kulikov N.I., Zubov M.G. New technology for wastewater treatment with immobilization of the active microbial sludge and an effective removal of nitrogen with the participation of anammox-bacteria implemented on the sites of the winter Olympic games Sochi-2014. Biotekhnologiya i kachestvo zhizni [Biotechnology and quality of life: International scientific-practical conference]. 2014. pp. 410–411. (in Russian).

7 Nguyen Tuan Anh, Kulkov V.N., Solopanov E.Yu. The use of synthetic materials based on polyamide fibers for intensification of biological purification of waste waters. *Izvestiya vuzov. Investicii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* [Proceedings of the universities. Investment. Construction. Realty]. 2018. vol. 8. no. 1. pp. 168–174. (in Russian).

8 Dolzhenko L.A. Immobilization of activated sludge in the bioreactor media in the context of nitrification and denitrification. *Obrazovanie i nauka v sovremennom mire. Innovacii* [Education and science in the modern world. Innovations]. 2016. no. 4. pp. 150–157. (in Russian).

9 Kalashnikova M.E., Belik E.S. Investigation of methods of adsorption immobilization of hydrocarbon-oxidizing microorganisms on carbonate. Ehkologiya i nauchno-tekhnicheskij progress. Urbanistika [Ecology and scientific and technical progress. Urbanism]. 2013. vol. 1. pp. 76–84. (in Russian).

10 Chernysh, Y., Plyatsuk, L. The carrier for biofilms development on the basis of technogenic wastes for pollutants treatment in the environmental protection technologies. Lecture Notes in Mechanical Engineering Volume. Part F2. 2019. pp. 422–432.

11 Bidinger S.C., Dzedzig B. Mutag BioChip, the ultimate MBBR carrier for biological wastewater treatment. Available at: http://www.mutag- biochip.com

12 Zherdev V.N., Studenikina L.N., Shelkunova M.V. Species composition of activated sludge from VOC aeration tanks. *Modeli i tekhnologii prirodoobustrojstva (regional'nyj aspekt)* [Models and technologies of nature management (regional aspect)]. 2016. no. 1 (2). pp. 34–39. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Любовь Н. Студеникина к.т.н., доцент, кафедра промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия,lubov-churkina@yandex.ru

Юлия Н. Дочкина аспирант, кафедра промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, dochkina.j.n@yandex.ru

Мария В. Шелкунова аспирант, кафедра промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, mar.sher2010@yandex.ru

Владимир И. Корчагин д.т.н., зав. кафедрой, кафедра промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kvi-vgta@rambler.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 10.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 31.10.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Lubov N. Studenikina Cand. Sci. (Engin.), associate professor, industrial ecology, chemical and petrochemical production equipment department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lubov-churkina@yandex.ru

Julia N. Dochkina graduate student, industrial ecology, chemical and petrochemical production equipment department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, dochkina.j.n@yandex.ru

Mariya V. Shelkunova graduate student, industrial ecology, chemical and petrochemical production equipment department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, mar.sher2010@yandex.ru

Vladimir I. Korchagin Dr. Sci. (Engin.), head of department, industrial ecology, chemical and petrochemical production equipment department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kvi-vgta@rambler.ru

CONTRIBUTION

All authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.10.2018

ACCEPTED 10.31.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 666.972.16

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-361-365

Влияние универсальной добавки БЕСТ на свойства бетона

Любовь А. Виноградова [1] lavinogradova@ya.ru
Юлия Н. Грачева [1] lafigleam@ya.ru

[1] Ивановский государственный химико-технологический университет, пр-т Шереметевский, 7, г. Иваново, 153000, Россия

Аннотация. С целью совершенствования свойств бетона вводят в бетонную смесь различные химические добавки, которые позволяют существенно снизить уровень затрат на единицу продукции, повысить качество и эффективность бетонных и железобетонных конструкций, увеличить срок их службы, а также зданий и сооружений в целом. В настоящей работе представлены результаты регулирования скорости схватывания, прочности и морозостойкости бетона, модифицированного универсальной добавкой БЕСТ ООО «МаКра». В качестве вяжущего вещества в бетонной смеси использовали портландцемент марки ЦЕМ I 42,5 Б ОАО «Мордовцемента», заполнителями являлись обогащенный кварцевый песок Хромцовского месторождения с модулем крупности 2,4 и гранитный щебень Орского месторождения фракции 5–20 мм с водопоглощением 0,2%. Изучено влияние универсальной добавки БЕСТ на строительно-технические свойства бетона с помощью определения скорости схватывания вяжущей системы и прочностных показателей затвердевшей композиции. Анализ данных показал, что введение регулятора в количестве 0,3% в бетонную смесь способствует длительному сохранению ее подвижности (до 4 ч) благодаря образованию адсорбционного слоя модификатора на поверхности зерен цемента, непроницаемого для воды. С повышением содержания (0,5–1,0%) БЕСТ в системе установлено ускорение скорости схватывания бетона за счет дефлокулирующего действия добавки. Нами выявлено повышение прочностных показателей модифицированного бетона (на 41%) по сравнению с без добавочным. Кроме того, введение универсальной добавки БЕСТ позволяет регулировать морозостойкость бетона в ~2 раза возможно за счет ускоренного формирования гелей гидроксидов кальция.

Ключевые слова: использование модифицирующих добавок, добавки в бетоны, модифицирование бетонов, технология, свойства, исследование на морозостойкость

The influence of universal additive BEST on the concrete properties

Lyubov A. Vinogradova [1] lavinogradova@ya.ru
Julia N. Gracheva [1] lafigleam@ya.ru

[1] Ivanovo state University of chemistry and technology, Sheremetevsky av., 7, Ivanovo, 153000, Russia

Abstract. In order to improve the properties of concrete, various chemical additives are introduced into the concrete mix which can significantly reduce the level of costs per unit of production, improve the quality and effectiveness of concrete and reinforced concrete structures, increase their service life as well as buildings and structures as a whole. This paper presents the results of the regulation of the setting speed, strength and frost resistance of concrete modified with the universal additive BEST LLC “Makra”. Portland cement CEM I 42.5 B of Mordovcement OJSC was used as a binder; the aggregates were enriched quartz sand from the Khromtsovskoye deposit with a size of 2.4 and granite rubble of the Orsk deposit of 5–20 mm with water absorption of 0.2% .The effect of the universal BEST additive on the construction and technical properties of concrete was studied by determining the binder system setting speed and the hardened composition strength characteristics. Data analysis showed that the introduction of a regulator in the amount of 0.3% into the concrete mixture contributes to the long-term preservation of its mobility (up to 4 hours) due to the water-proof modifier adsorption layer formation on the cement grains surface. With an increase in the content (0.5–1.0%) of BEST in the system the concrete setting speed acceleration was established due to the additive deflorulating effect. We have identified an increase in the strength characteristics of the modified (by 41%) concrete compared with no additional. Besides, the introduction of the universal additive BEST allows you to adjust the concrete frost resistance ~2 times possibly due to accelerated formation of calcium hydroxides gels.

Keywords: modifying agents use, concrete additives, concrete manufacturing technology, concrete modification, concrete properties, research on frost resistance

Введение

Для повышения эффективности, качества и долговечности бетона, а также совершенствования его свойств применяют различные технологические приемы [1–6], наиболее доступным из которых является введение в бетонную смесь химических добавок. Последние позволяют существенно снизить уровень затрат на единицу продукции, повысить качество и эффективность бетонных и железобетонных конструкций, увеличить срок их службы, а также зданий и сооружений в целом [7–12].

Ранее [13] нами было выявлено модифицирование бетонной смеси суперпластификатором «ПОЛИПЛАСТ СП-3», производитель ОАО «Полипласт». Установлено, что при содержании 0,5–1,0% регулятора в составе композиции позволяет ускорить ее скорость схватывания за счет с пептизирующего действия добавки, тогда как при меньших количествах добавки процесс схватывания бетонной смеси замедляется. Кроме того, найдено оптимальное содержание модификатора, способствующее набору необходимой скорости структурообразования системы и формированию прочных структур твердения с определенными эксплуатационными характеристиками. Введение 0,5% СП-3 в бетонную смесь способствует приросту прочности образцов на 22%.

Для цитирования

Виноградова Л.А., Грачева Ю.Н. Влияние универсальной добавки БЕСТ на свойства бетона // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 361–365. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-361-365

For citation

Vinogradova L.A., Gracheva Ju.N. The influence of universal additive BEST on the concrete properties. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 361–365. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-361-365

Представлены результаты регулирования скорости схватывания, прочности и морозостойкости бетона, модифицированного универсальной противоморозной добавкой БЕСТ.

Материалы и методы

В качестве вяжущего вещества в бетонной смеси использовали портландцемент марки ЦЕМ I 42,5 Б ОАО «Мордовцемента», соответствующий требованиям ГОСТ 31108-2003 [14] (минералогический состав его клинкера (массовое содержание, %): C_3S – 62; C_2S – 14; C_3A – 6,5; C_4AF – 12).

Заполнителями бетона являлись обогащенный кварцевый песок Хромцовского месторождения с модулем крупности 2,4, отвечающий требованиям ГОСТ 8736–2014 [15], и гранитный щебень Орского месторождения фракции 5–20 мм с водопоглощением 0,2%, соответствующий требованиям ГОСТ 8267-93 [16]. В качестве регулятора использовали противоморозную универсальную добавку для бетонов и растворов «БЕСТ» (БЕСТ), которую выпускает ООО «МаКра», г. Новочебоксарск в форме водорастворимых гранул белого цвета по ТУ 5775–001–94089809–2007 [17].

Регулирование свойств бетона введением добавки оценивали по скорости схватывания цементного теста нормальной густоты, приготовленного смешиванием регулятора с водой и цементом. Предел прочности при сжатии бетонной композиции в 3-, 7- и 28-суточном возрасте определяли в соответствии с ГОСТ 310.3–76 [128]. Для определения прочностных характеристик готовили бетонную смесь М300 с соотношением компонентов, представленным в таблице 1.

Таблица 1.
Соотношение компонентов в бетонной смеси

Table 1.
The Ratio of Components in Concrete Mix

Состав бетонной смеси The composition of the concrete mix	Массовое содержание, % Mass content, %	
	Без добавки No additive	С добавкой With additive
Цемент | Cement	13,83	12,83
Песок | Sand	32,31	34,18
Гравий | Gravel	46,95	46,58
Вода | Water	6,91	6,41
Добавка БЕСТ Supplement BEST	–	0,30

Введение добавки БЕСТ осуществляли в виде водного раствора с массовым содержанием 0,3–1,0% от массы цемента, при этом она вводилась сверх 100% состава бетонной смеси.

Твердение бетонных композиций осуществлялось при тепловлажностной обработке образцов в пропарочной камере при температурах до 80 °С и давлении 0,3 МПа. Морозостойкость готового изделия определяли по стандартной методике по ГОСТ 10060-2012 [19]. При этом проверяли образцы в возрасте 28 сут после попеременного замораживания и оттаивания в 5%-ном растворе хлористого натрия на 20 и 30 циклы (по ускоренному методу).

Результаты и обсуждение

Интенсивное изменение пластических свойств цемента, как главной составляющей бетона, происходит в период схватывания композиции. Схватывание – это частичная, а затем и полная потеря подвижности и способности формоваться цементного теста, соответствующая началу и концу процесса. В это время смесь обладает незначительной механической прочностью и в ней проявляются свойства хрупкой смеси, т. е. способность разрушаться без пластической деформации.

Скорость схватывания можно регулировать, например, добавлением гипса, объемом воды, температурой воздуха, а также введением различных добавок. Так, нами были определены сроки схватывания композиции с различным содержанием добавки БЕСТ (таблица 2).

Таблица 2.
Влияние количества введения добавки БЕСТ на сроки схватывания, ч-мин

Table 2.
The influence of the additive BEST amount on the setting time, h-min

Количество добавки, % Amount of additive, %	Начало схватывания Start setting	Конец схватывания End of setting
0	2–20	3–55
0,3	4–01	6–02
0,5	1–58	2–51
0,8	1–35	2–21
1,0	1–01	2–44

Установлено, что введение добавки БЕСТ неоднозначно воздействовало на скорость схватывания вяжущих композиций. Небольшое содержание модификатора (0,3%) в бетонной смеси приводило к некоторому замедлению схватывания вяжущей композиции по сравнению с бездобавочным цементом. Предположительно, это может быть связано с тем, что при малой концентрации регулятора в системе он ведет себя как пластификатор. Механизм действия последнего заключается в образовании адсорбционного слоя добавки на поверхности зерен цемента, непроницаемого для воды. При этом продолжительность схватывания замедляется по времени приблизительно в ~1,5 раза, что приведет к существенному

увеличению предварительной выдержки железобетонных изделий при их производстве, которая может отрицательно отразится на сроках изготовления конструкций.

Повышение содержания регулятора влечет за собой существенное ускорение схватывания вяжущей композиции, при этом положительно сказываясь на формировании структуры цементного камня. Возможно такой эффект объясняется тем, что при концентрации модификатора от 0,5 до 1,0% за счет дефлокулирующего действия поверхностно-активной добавки растет площадь контакта цемента с водой, и количество новообразований увеличивается.

Активизация процесса гидратации цемента с введением 0,5–0,8% регулятора способствует сокращению периода схватывания вяжущей системы в ~2 раза (с 1,5 ч до 46 мин), что позволит сократить продолжительность предварительной выдержки железобетонных изделий при их производстве, которая приведет к увеличению оборачиваемости форм.

В результате введения добавки БЕСТ в количестве 0,3–0,8% отчетливо обнаруживается существенное повышение прочностных показателей бетонных композиций по сравнению с прочностью обычного бетона (рисунок 1). Данный эффект можно объяснить тем, что в присутствии исследуемой добавки наблюдается уменьшение объема межзернового пространства за счет более тесного контакта оболочек гидратированных продуктов на поверхности соседних зерен вяжущего, что приводит к образованию плотного и прочного конгломерата. Более того, происходит формирование более прочных соединений частиц растворенной добавки с молекулами воды (сольватов).

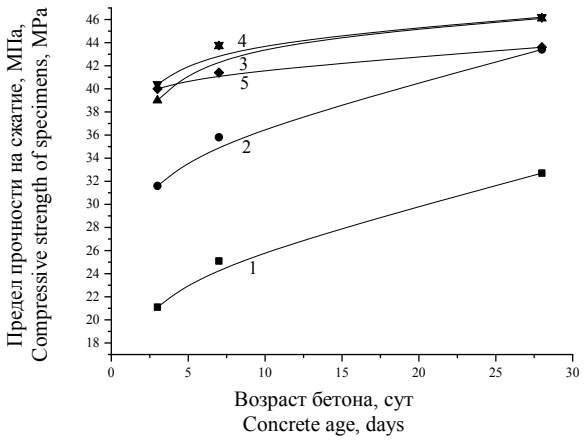


Рисунок 1. Зависимость предела прочности при сжатии от возраста бетона с добавкой БЕСТ. Концентрация добавки, %: 1 – 0; 2 – 0,3; 3 – 0,5; 4 – 0,8; 5 – 1,0

Figure 1. The dependence of the compressive strength on the age of concrete with the addition of BEST. Additive concentration, %: 1 – 0; 2 – 0,3; 3 – 0,5; 4 – 0,8; 5 – 1,0

Максимальные пределы прочности при сжатии бетона соответствуют введению в бетонную смесь модификатора в количестве 0,5–0,8% (рисунок 1, кривые 3 и 4).

Однако дальнейшее увеличение количества регулятора в бетоне приводит к снижению прочностных характеристик материала одновременно с сокращением сроков схватывания. Известно, что формирование прочности цементных бетонов обеспечивается образованием гидросиликатов кальция (ГСК), состав которых варьируется в широких пределах. При быстро протекающем структурообразовании могут фиксироваться промежуточные ГСК, имеющие меньшую прочность. Переход ГСК одного состава в другие соединения в уже схватившейся смеси сопровождается перестройкой структуры, а значит и понижением прочности.

Производителем добавки БЕСТ заявлен ее противоморозный эффект, который проявляется в способности бетонной композиции в насыщенном водой состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание. В таких условиях разупорядочение структуры бетона и его последующее разрушение происходит за счет создаваемого замерзающей водой давления на стенки пор и устья микротрещин.

Критерием морозостойкости бетона является количество циклов, при котором потеря массы образца менее 5%, а его прочность снижается не более чем на 25%.

Результаты испытаний на морозостойкость бетона в зависимости от концентрации регулятора представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Морозостойкость бетона

Table 3.

Concrete frost resistance

Массовое содержание добавки БЕСТ, % Mass content supplements BEST,%	Предел прочности на сжатие образцов в возрасте 28 сут, МПа Compressive strength, MPa, when tested for frost resistance	Предел прочности на сжатие, МПа, при испытании на морозостойкость Compressive strength of specimens at the age of 28 days, MPa	
		20 циклов 20 cycles	30 циклов 30 cycles
0,0	32,7	29,2	22,0
0,5	43,7	44,2	40,0

Примечание: Погрешность измерений находится в пределах 5%

Note: Measurement Error is within 5%

Использование добавки БЕСТ в бетонной смеси приводит не только к сохранению показателя прочности, но и к его значительному повышению в ~1,5 раза по сравнению с обычным бетоном. Возможно, это связано со снижением температуры замерзания воды и активизацией процесса гидратации цемента с ускоренным образованием гелей. Вследствие реакций обмена в раствор ускоренно выделяется свободный оксид кальция и повышается растворимость силикатных цементных составляющих, что ведет к формированию гелей гидроксидов кальция.

Заключение

Проведенные исследования подтвердили возможность регулирования свойств бетонов за счет введения добавки БЕСТ. Установлено, что введение регулятора в количестве 0,5–0,8% от массы цемента приводит к значительному ускорению скорости схватывания. Однако при содержании 0,3% модификатора в бетонной системе наблюдается существенное замедление процесса твердения с длительным сохранением подвижности цементной смеси (до 4 ч) благодаря образованию адсорбционного слоя модификатора на поверхности зерен цемента, непроницаемого для воды.

При этом изучено поведение затвердевших вяжущих композиций под нагрузкой в зависимости от количества содержания в них добавки. Модифицирование бетона способствует приросту прочности образцов на 41%.

Кроме того, с помощью введения универсальной добавки БЕСТ удалось повысить морозостойкость бетона в ~2 раза, предположительно за счет снижения температуры замерзания воды и ускоренного формирования гелей гидроксидов кальция.

Благодаря направленному применению изученной добавки возможно создание оптимальной микроструктуры цементного камня, упрочнение контактных зон цементного камня и заполнителя, уменьшение макропористости и, как следствие, всех этих процессов, повышение прочности и морозостойкости всей конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1 Баженов Ю.М. Технология бетона: учебник. М.: Изд-во АСВ, 2002. 500 с.

2 Виноградова Л.А., Катаргина В.К., Копосов И.А. Основы технологии железобетонных изделий: учеб. пособие. Иваново: ИГХТУ, 2016. 227 с.

3 Özcan F., Karahan O., Atis C.D., Uncuoglu E. et al. Comparison of artificial neural network and fuzzy logic models for prediction of long-term compressive strength of silica fume concrete // Advances in Engineering Software. 2009. V. 40. № 9. P. 856-863.

4 Sun L., Yu W.Y., Ge Q. Experimental research on the self-healing performance of micro-cracks in concrete bridge //Advanced Materials Research. 2011. V. 250. P. 28-32.

5 Jing Z., Jin F., Hashida T., Yamasaki N. et al. Influence of tobermorite formation on mechanical properties of hydrothermally solidified blast furnace slag // Journal of Materials Science. 2008. V. 43. № 7. P. 2356-2361.

6 Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика: изд. 2-е, перераб. и доп. М., 1998. 768 с.

7 Ahmedzade P., Yilmaz M. Effect of polyester resin additive on the properties of asphalt binders and mixtures // Construction and building materials. 2008. V. 22. № 4. P. 481-486.

8 Изотов В.С., Соколова Ю.А. Химические добавки для модификации бетона. М.: Палеотип, 2006. 244 с.

9 Ikotun B.D., Ekolu S. Strength and durability effect of modified zeolite additive on concrete properties // Construction and Building Materials. 2010. V. 24. № 5. P. 749-757.

10 Касторных Л.И. Добавки в бетоны и строительные растворы: учеб.-справ. пособие. 2-е изд. Ростов н/Д: Феникс, 2007. 221 с.

11 Зоткин А.Г. Бетоны с эффективными добавками. М.: Инфра-Инженерия, 2014. 160 с.

12 Sanchez-Alonso E., Vega-Zamanillo A., Castro-Fresno D., DelRio-Prat M. Evaluation of compactability and mechanical properties of bituminous mixes with warm additives // Construction and Building Materials. 2011. V. 25. № 5. P. 2304-2311.

13 Виноградова Л.А. Влияние введения суперпластификатора «ПОЛИПЛАСТ СП-3» на свойства бетона // Стекло и керамика. 2018. № 4. С. 39–41.

14 ГОСТ 31108-2003. Цементы общестроительные. Технические условия. М.: ГУП ЦПП, 2004. 22 с.

15 ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1995. 42 с.

16 ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2015. 8 с.

17 ТУ 5775-001-94089809-2007. Добавки для бетонов и растворов «БЕСТ». Технические условия.

18 ГОСТ 310.3-76. Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема (с Изменением № 1). М.: Изд-во Стандартов, 1976. 6 с.

19 ГОСТ 10060-2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости (с поправкой). М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.

REFERENCES

1 Bazhenov Yu.M. Tekhnologiya betona [Concrete Technology]. Moscow, Publishing House ASV, 2002. 500 p. (in Russian).

2 Vinogradova L.A., Katargina V.K., Koposov I.A. Osnovy tekhnologii zhelezobetonnyh izdelij [Fundamentals of technology of reinforced concrete products]. Ivanovo, Ivanovo State Chemical Technical University, 2016. 227 p. (in Russian).

3 Özcan F., Karahan O., Atis C.D., Uncuoglu E. et al. Comparison of artificial neural network and fuzzy logic models for prediction of long-term compressive strength of silica fume concrete. Advances in Engineering Software. 2009. vol. 40. no. 9. pp. 856-863.

4 Sun L., Yu W.Y., Ge Q. Experimental research on the self-healing performance of micro-cracks in concrete bridge. Advanced Materials Research. 2011. vol. 250. pp. 28-32.

5 Jing Z., Jin F., Hashida T., Yamasaki N. et al. Influence of tobermorite formation on mechanical properties of hydrothermally solidified blast furnace slag // Journal of Materials Science. 2008. vol. 43. no. 7. pp. 2356-2361.

6 Batrakov V.G. Modificirovannye betony. Teoriya i praktika [Modified concretes. Theory and practice]. Moscow, 1998. 768 p. (in Russian).

7 Ahmedzade P., Yilmaz M. Effect of polyester resin additive on the properties of asphalt binders and mixtures. Construction and building materials. 2008. vol. 22. no 4. pp. 481-486.

8 Izotov V.S., Sokolova Yu.A. Himicheskie dobavki dlya modifikacii betona [Chemical additives for concrete modification]. M.: Paleotip, 2006. 244 p. (in Russian).

9 Ikotun B.D., Ekolu S. Strength and durability effect of modified zeolite additive on concrete properties. Construction and Building Materials. 2010. vol. 24. no. 5. pp. 749-757.

10 Kastornyh L.I. Dobavki v betony i stroitel'nye rastvory [Additives in concrete and mortar]. Rostov on Don, Feniks, 2007. 221 p. (in Russian).

11 Zotkin A.G. Betony s ehffektivnymi dobavkami [Concrete with effective additives]. Moscow, Infra-Inzheneriya, 2014. 160 p. (in Russian).

12 Sanchez-Alonso E., Vega-Zamanillo A., Castro-Fresno D., DelRio-Prat M. Evaluation of compactability and mechanical properties of bituminous mixes with warm additives. Construction and Building Materials. 2011. vol. 25. no. 5. pp. 2304-2311.

13 Vinogradova L.A. The effect of the introduction of the POLYPLAST SP 3 superplasticizer on the properties of concrete. *Steklo i keramika* [Glass and ceramics]. 2018. no. 4. pp. 39–41. (in Russian).

14 GOST 31108-2003. Cementy obshchestroitel'nye. Tekhnicheskie usloviya [Cements general construction. Technical conditions]. Moscow, GUP CPP, 2004. 22 p. (in Russian).

15 GOST 8267-93. Sнсневеn' i gravij iz plotnyh gornyh porod dlya stroitel'nyh rabot. Tekhnicheskie usloviya [Crushed stone and gravel from dense rocks for construction works. Technical conditions]. Moscow, Standards publishing house, 1995. 42 p. (in Russian).

16 GOST 8736-2014. Pesok dlya stroitel'nyh rabot. Tekhnicheskie usloviya [Sand for construction work. Technical conditions]. Moscow, Standartinform, 2015. 8 p. (in Russian).

17 TU 5775-001-94089809-2007. Dobavki dlya betonov i rastvorov «BEST». Tekhnicheskie usloviya [Additives for concrete and solutions "BEST". Technical conditions.]. (in Russian).

18 GOST 310.3-76. Cementy. Metody opredeleniya normal'noj gustoty, srokov skhvatyvaniya i ravnomernosti izmeneniya ob"ema (s Izmeneniem № 1) [Cements. Methods for determining the normal density, setting time and uniformity of volume change (with Change No. 1)]. Moscow, Standards publishing house, 1976. 6 p. (in Russian).

19 GOST 10060-2012. Betony. Metody opredeleniya morozostojkosti (s popravkoj) [Concretes. Methods for determining frost resistance (with correction)]. Moscow, Standartinform, 2014. 16 p. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Любовь А. Виноградова к.х.н., доцент, кафедра технологии керамики и наноматериалов, Ивановский государственный химико-технологический университет, пр-т Шереметевский, 7, г. Иваново, 153000, Россия, lavinogradova@ya.ru

Юлия Н. Грачева студент, кафедра Технологии керамики и наноматериалов, Ивановский государственный химико-технологический университет, пр-т Шереметевский, 7, г. Иваново, 153000, Россия, lafigleam@ya.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Любовь А. Виноградова организовала производственные испытания, написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и консультация в ходе исследования

Юлия Н. Грачева осуществила обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент и несёт ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 05.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 06.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Lyubov A. Vinogradova Cand. Sci. (Chem.), associate professor, ceramics and nanomaterials technology department, Ivanovo state University of chemistry and technology, Sheremetevsky Av., 7, Ivanovo, 153000, Russia, lavinogradova@ya.ru

Julia N. Gracheva student, ceramics and nanomaterials technology department, Ivanovo state University of chemistry and technology, Sheremetevsky Av., 7, Ivanovo, 153000, Russia, lafigleam@ya.ru

CONTRIBUTION

Lyubov A. Vinogradova organized production trials, wrote the manuscript, correct it before filing in editing and consultation during the study

Julia N. Gracheva made a review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment and is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.5.2018

ACCEPTED 11.6.2018

Экономика и управление

Оригинальная статья/Original article

УДК 338.48

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-366-370

Методические основы классификации инноваций в туристической сфере Российской Федерации

Юлия А. Солодовник [1] juliya198708@mail.ru

[1] Российская академия народного хозяйства и государственной службы при президенте РФ, Липецкий филиал, ул. Интернациональная, 3, Липецк, 398050, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены методические основы классификации инвестиций на предприятиях сферы туризма Российской Федерации. Рассмотрена необходимость внедрения и определены ключевые факторы инноваций в туристической сфере. К наиболее важным и существенным факторам, непосредственно влияющим на интенсивность внедрения инноваций в функционирование субъектов туристической сферы, отнесены следующие: рост уровня конкуренции в современном туризме является прямым следствием перехода субъектов туристической сферы от агрессивной ценовой конкуренции к принципам конкуренции в рамках увеличения уровня качества и оптимального соотношения показателей качества и цены; динамично растущие потребности современного общества заставляют предприятия сферы туризма формировать более совершенные, насыщенные и разнообразные продукты и предлагать наиболее унифицированные и, в то же время, неординарные услуги; активное развитие информационных, технических и коммуникационных технологий стимулируют субъектов туристической сферы к внедрению и применению последних достижений науки и техники для повышения показателей эффективности и удовлетворения потребностей туристов; активизация глобализационных процессов является причиной диверсификации производства туристических услуг и объединения туристических предприятий на национальном и международном уровнях. Установлено, что под инновациями в сфере туризма необходимо понимать качественно новый продукт, который комплексно позволяет удовлетворить существующие и потенциальные потребности туристов и получить максимальный эффект (социально-экономический, финансовый и пр.) Определено что, состояние и развитие отрасли определяют возможности осуществления инновационно-инвестиционной деятельности отдельного туристического предприятия, исходя из его внутренних потребностей и имеющихся ресурсов. В работе установлено что, обобщение и комплексная систематизация классификационных элементов и признаков, а также формирование научно обоснованного перечня инноваций, применяемых в рамках функционирования компаний туристической сферы, имеет значительную практическую значимость, поскольку определяет потенциальной способностью дать детальное представление о характеристиках того или иного новшества.

Ключевые слова: инновации в туризме, классификация инноваций, сфера туризма, туризм, эффективность инноваций

Methodical foundations of the classification of innovations in the tourism sector of the Russian Federation

Juliya A. Solodovnik [1] juliya198708@mail.ru

[1] Lipetsk branch of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Internatsionalnaya Street, 3 Lipetsk, 398050, Russia

Abstract. The article discusses the methodological foundations of the classification of investments in enterprises of the tourism industry of the Russian Federation. Considered the need for implementation and identified key factors of innovation in the tourism sector. The most important and significant factors directly influencing the intensity of innovation in the functioning of subjects of the tourism sector include the following: the increase in the level of competition in modern tourism is a direct consequence of the transition of subjects of the tourism sector from aggressive price competition to the principles of competition as part of increasing the quality level and optimal ratio quality and price indicators; The rapidly growing needs of modern society are forcing tourism enterprises to form more sophisticated, rich and diverse products and offer the most unified and, at the same time, extraordinary services; the active development of information, technical and communication technologies stimulate the subjects of the tourism sector to introduce and apply the latest achievements of science and technology to improve performance indicators and meet the needs of tourists; the intensification of globalization processes is the reason for the diversification of the production of tourism services and the unification of tourism enterprises at the national and international levels. It has been established that innovation in the field of tourism needs to be understood as a qualitatively new product that comprehensively allows to meet the existing and potential needs of tourists and get the maximum effect (socio-economic, financial, etc.). It is determined that the state and development of the industry determine the possibilities for implementing innovation and investment activities of a separate tourism enterprise, based on its internal needs and available resources. It was found that the generalization and complex systematization of classification elements and features, as well as the formation of a scientifically based list of innovations used in the operation of companies in the tourism sector, has significant practical significance, since it determines the potential ability to give a detailed idea of the characteristics of a particular innovation.

Keywords: innovations in tourism, classification of innovations, tourism, tourism industry, efficiency of innovations

Для цитирования

Солодовник Ю.А. Методические основы классификации инноваций в туристической сфере Российской Федерации // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 366–370. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-366-370

For citation

Solodovnik J.A. Methodical foundations of the classification of innovations in the tourism sector of the Russian Federation. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 366–370. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-366-370

Введение

Современные условия эффективного функционирования национальной экономики требуют от субъектов хозяйствования реализации элементов научно-технического прогресса, интенсификации процессов, связанных с разработкой и последующим внедрением в практику хозяйствования различных нововведений. На современном этапе развития сферы туризма РФ уже не существует сомнений относительно важности перехода национальной сферы туризма на схемы и модели инновационного развития. Действующая практика доказывает, что именно инновационные механизмы в функционировании субъектов и объектов туристической сферы способны обеспечить рост уровня их конкурентоспособности, существенно повысить качество предоставляемых услуг.

Существенный вклад в решение вопросов совершенствования теоретических основ применения инноваций в туристической сфере в условиях современной экономики внесли работы следующих ученых: Е.А. Авдеевой, В.И. Азара, И.А. Бланка, М.Л. Вартанова, В.Г. Гуляева, И.Н. Дрогобынского, Н. Зайцевой, Н.И. Кабушкина, В.А. Квартальнова, А.Д. Чудновского и др.

Материалы и методы

Инновационная деятельность заведений туристической сферы неразрывно связана с инвестиционным развитием, то есть происходит непрерывное формирование и использование инвестиционных ресурсов для достижения организацией оперативных и стратегических целей их финансово-экономической деятельности.

Необходимость внедрения инноваций для обеспечения процесса развития предприятий национальной сферы туризма определяется современными тенденциями мировой туристической сферы и общества. К наиболее важным и существенным факторам, непосредственно влияющим на интенсивность внедрения инноваций в функционирование субъектов туристической сферы, необходимо отнести следующие [3, 4]:

– рост уровня конкуренции. В современном туризме это является прямым следствием перехода субъектов туристической сферы от агрессивной ценовой конкуренции к принципам конкуренции в рамках увеличения уровня качества и оптимального соотношения показателей качества и цены, что приводит к активному поиску инновационных механизмов удовлетворения существующих требований потребителей туристических услуг;

– динамично растущие потребности современного общества. Они заставляют предприятия сферы туризма формировать более совершенные, насыщенные и разнообразные продукты и предлагать наиболее унифицированные и в то же время неординарные услуги;

– активное развитие информационных, технических и коммуникационных технологий. Это стимулирует субъекты туристической сферы к внедрению и применению последних достижений науки и техники для повышения показателей эффективности и удовлетворения потребностей туристов;

– активизация глобализационных процессов. Это причина диверсификации производства туристических услуг и объединения туристических предприятий на национальном и международном уровнях. Так, для удержания своих конкурентных позиций в этой ситуации компании вынуждены искать новые принципы управления, новые формы взаимодействия, объединяться в стратегические альянсы, туристические кластеры и пр.

Необходимо отметить, что ключевой целью инноваций в деятельности компаний туристической сферы являются мероприятия, направленные на рост качества и уровня конкурентоспособности предлагаемого туристического продукта, который ими создается для комплексного удовлетворения потребностей туристов и повышения эффективности и прибыльности функционирования в целом [5, 9].

Опираясь на общую дефиницию «инновация», под инновациями в сфере туризма необходимо понимать качественно новый продукт, который комплексно позволяет удовлетворить существующие и потенциальные потребности туристов и получить максимальный эффект (социально-экономический, финансовый и пр.). Учитывая существующую специфику национальной сферы туризма, необходимо отметить, что итоговый эффект, который будет получен в рамках внедрения туристических инноваций, должен носить не только финансовый характер (например, повышение прибыльности и рентабельности), но и обязательно социальный и экологический.

К туристическим инновациям следует отнести, в первую очередь, те нововведения, которые включают в себя следующие элементы:

– комплексное восстановление физических сил и психологического состояния туристов;

– качественные изменения туристического продукта и услуг [7];

– повышение результативности процесса управления;

– рост эффективности процессов создания, позиционирования и продвижения туристических продуктов и услуг;

– повышение уровня имиджа и конкурентоспособности компаний туристической сферы.

Важнейшим теоретическим и практическим заданием формирования и реализации механизма внедрения инновационных процессов в функционирование предприятий сферы туризма является формирование основных принципов, на которые они в дальнейшем опираются. Под такими принципами понимают общепринятые нормы функционирования на рынке и свойства социально-экономических процессов [11].

Исследованием современной нормативно-методической литературы в рамках формирования ключевых принципов инноваций в развитии туристической сферы установлено, что каждый ученый формирует их в соответствии со спецификой исследования.

Однако стоит отметить, что из большого количества различных принципов можно выделить и обобщить следующие:

– общие (научность, практичность, системность, экономичность и пр.);

– отраслевые принципы, которые относятся непосредственно к сфере туризма.

Исследовав труды, посвященные внедрению инноваций в сфере туризма, можно выделить ключевые принципы инноваций в туризме:

– научности;

– позитивности результатов;

– имманентности инновационно-инвестиционным процессам;

– прямого соответствия инновационной активности и ее непосредственных результатов существующему уровню развития общества;

– системности и безопасности.

Исследование тенденций и ключевых закономерностей комплексного внедрения инноваций, а также формирование эффективных методов менеджмента инноваций в функционировании компаний сферы туризма требует их обобщенной классификации [8, 12].

Изучением существующих вариантов классификации инноваций в туристической сфере установлено, что на данный момент, не существует четко утвержденной их классификации. Так, отдельные авторы предлагают следующий вариант:

- технические инновации прямо связаны с применением новых видов туристической техники, информационных технологии и инструментов, а также разнообразных технико-технических приемов функционирования работы и обслуживания [1, 6];
- организационные инновации связаны с новыми видами туристических продуктов и услуг, более эффективным обслуживанием туристов;
- комплексные инновации объединяют различные аспекты и направления сервисной деятельности;
- управленческие инновации направлены на совершенствование внутреннего и внешнего функционирования компаний сферы туризма, использование новых методов и форм менеджмента [2].

В свою очередь, в работах [8, 9, 11] очерчены следующие ключевые направления инноваций в туристической сфере:

– формирование качественно нового туристического продукта и услуг;

– сбытовая деятельность;

– усовершенствованные методы управления;

– применение новейших технологий.

По форме собственности целесообразно классифицировать туристические инновации на государственные, федеральные, муниципальные, частные и коллективные. Государственные, федеральные и муниципальные инновации – это результат финансирования, осуществляется органами государственной власти или органами местного самоуправления за счет бюджетных средств. К ним можно отнести, например, инновации в сфере законотворчества, экологии и т. п. Зачастую государственные инновации ориентированы не на получение прибыли, а создание благоприятных условий для развития предприятий гостиничной отрасли.

Частные и коллективные инновации являются объектом частной или коллективной собственности. В условиях современной рыночной экономики они возникают в результате свободной конкуренции. Источником подобных инноваций является прибыль туристического предприятия, увеличение размеров которой действует как стимул для инновационной деятельности [10].

Развитие инноваций в туристическом бизнесе может иметь различную целевую направленность: экономические, социальные и экологические инновации.

Экономические инновации направлены на обеспечение роста экономических показателей деятельности предприятий туристической индустрии, например, за счет совершенствования маркетинговой, организационно-управленческой политики.

Социальные инновации имеют тесную связь с развитием общества и культуры. Выделение такого вида инноваций обусловлено обострением социальных проблем, одной из которых на сегодня является охрана здоровья и улучшение общего психологического и морального состояния населения.

Оздоровление и улучшение состояния окружающей среды, а также обеспечение благоприятных экологических условий для отдыха туристов является направлением создания и внедрения экологических инноваций.

По величине инвестируемого капитала, который нужен для реализации инновационного процесса, мы выделяем следующие инновации: высокозатратные, середнезатратные и низкозатратные. К высокозатратным инновациям относятся технически сложные инновации, которые требуют научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок, что и обусловливает значительные временные и материальные затраты.

В зависимости от того, насколько сложной является инновация в своем исполнении, а именно в процессе ее создания, целесообразно выделить инновации, созданные силами гостиничного предприятия, и инновации, созданные внешними силами.

Что касается факторов влияния на инновационную деятельность туристического предприятия, то целесообразным является деление всего спектра факторов на:

- внешние факторы косвенного воздействия – макроуровень (государство);
- внешние факторы прямого воздействия – мезоуровень (отрасль);
- внутренние факторы – микроуровень (компания).

Результаты и обсуждение

Таким образом, каждая из выделенных групп факторов влияет на инновационно-инвестиционную деятельность туристического предприятия, однако степень их влияния различна.

Так, общее макроэкономическое состояние государства формирует условия функционирования отрасли в целом и ее инновационно-инвестиционную активность.

Состояние и развитие отрасли определяют возможности осуществления инновационно-инвестиционной деятельности отдельного туристического предприятия, исходя из его внутренних потребностей и имеющихся ресурсов. То есть факторы макроуровня косвенно влияют на инновационно-инвестиционную деятельность предприятия, а мезо- и микроуровней – непосредственно.

Также надо сказать, что некоторые внешние факторы прямого воздействия и внутренние являются смежными между собой, т.к. первые и вторые охватывают сферу предприятия.

Следовательно, на внедрение инноваций туристическими предприятиями значительно влияют потребности потребителей туристского продукта, экономическая ситуация в стране, социальное положение общества, состояние туристического рынка, национальное законодательство, межправительственные и международные соглашения и др.

Выводы

Стоит отметить, что обобщение и комплексная систематизация классификационных элементов и признаков, а также формирование научно обоснованного перечня инноваций, применяемых в рамках функционирования компаний туристической сферы, имеют значительную практическую значимость, поскольку определяют потенциальную способность дать детальное представление о характеристиках того или иного новшества. В связи с этим в исследовании дополнительно рассмотрены классификации инноваций.

Основой успешного применения инноваций в обеспечении эффективного функционирования компаний сферы туризма является источник возникновения идеи инновации, благодаря чему формируется сфера применения таких инновации и качественно-количественные показатели эффективности использования.

ЛИТЕРАТУРА

1 Авдеев А.С., Авдеева Е.А. Методологические аспекты финансирования инноваций в туристской сфере в России // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2016. № S9.

2 Андреева А.А. Формирование системы показателей инновационной деятельности в туризме // Вестник РМАТ. 2013. № 1 (7). С. 45.

3 Вартанова М.Л. Инновационная деятельность в туризме и ее государственное регулирование // Экономические отношения. 2017. Т. 7. № 2. С. 209–222.

4 Агентство инноваций и развития. Инновации в гостиничном бизнесе. URL: https://www.innoros.ru/publications/interesting/13/innovatsii-v-gostinichnom-biznese

5 Косевска Н.В. Становление новой туристской дестинации в ЕАЭС: иллюзия или реальность? // Экономика и предпринимательство. 2015. № 8. Ч. 1. С. 823–830.

6 Общая информация. Инновации в России. URL: http://innovation.gov.ru/node/3550/

7 Патутина Н.А. Региональные инновации в сфере туризма // Интернет-журнал «Науковедение». 2014. № 1 (20). С. 27.

8 Najda-Janoszka M., Kopera S. Exploring barriers to innovation in tourism industry–the case of southern region of Poland // Procedia-Social and Behavioral Sciences. 2014. V. 110. P. 190–201.

9 Carlisle S., Kunc M., Jones E., Tiffin S. Supporting innovation for tourism development through multi-stakeholder approaches: Experiences from Africa // Tourism Management. 2013. V. 35. P. 59–69.

10 Tejada P., Moreno P. Patterns of innovation in tourism “small and medium-size enterprises” // The Service Industries Journal. 2013. V. 33. №. 7–8. P. 749–758.

11 Alsos G.A. et al. Introduction: Innovation in tourism industries // Chapters. 2014. P. 1–24.

12 Nieves J., Segarra-Cipres M. Management innovation in the hotel industry // Tourism Management. 2015. V. 46. P. 51–58.

REFERENCES

1 Avdeev A.S., Avdeeva E.A. Methodological aspects of financing innovation in the tourism sector in Russia. *Nauchno-metodicheskij ehlektronnyj zhurnal "Koncept"* [Scientific and methodical electronic journal "Kontsept"] 2016. no. S9. (in Russian).

2 Andreeva A.A. Formation of a system of indicators of innovation in tourism. *Vestnik RMAT* [Vestnik RIAT]. 2013. no. 1 (7). pp. 45. (in Russian).

3 Vartanova M.L. Innovative activity in tourism and its state regulation. *Ekonomicheskie otnosheniya* [Economic relations]. 2017. vol. 7. no. 2. pp. 209–222. (in Russian).

4 Agentstvo innovacij i razvitiya. Innovacii v gostinichnom biznese [Agency of Innovation and Development. Innovation in the hotel business]. Available at: https://www.innoros.ru/publications/interesting/13/innovatsii-v-gostinichnom-biznese (in Russian).

5 Kosevska N.V. Formation of a new tourist destination in the EAEU: illusion or reality? *Ekonomika i predprinimatelstvo* [Economy and Entrepreneurship]. 2015. no 8. part. 1. pp. 823–830 (in Russian).

6 Obshchaya informaciya. Innovacii v Rossii [General information. Innovations in Russia]. Available at: http://innovation.gov.ru/node/3550/ (in Russian).

7 Patutina N.A. Regional Innovations in Tourism. *Internet-zhurnal "Naukovedenie"* [Internet journal "Science"]. 2014. no. 1 (20). pp. 27. (in Russian).

8 Najda-Janoszka M., Kopera S. Exploring barriers to innovation in tourism industry–the case of southern region of Poland. Procedia-Social and Behavioral Sciences. 2014. vol. 110. pp. 190–201.

9 Carlisle S., Kunc M., Jones E., Tiffin S. Supporting innovation for tourism development through multi-stakeholder approaches: Experiences from Africa. Tourism Management. 2013. vol. 35. pp. 59–69.

10 Tejada P., Moreno P. Patterns of innovation in tourism "small and medium-size enterprises". The Service Industries Journal. 2013. vol. 33. no. 7–8. pp. 749–758.

11 Alsos G.A. et al. Introduction: Innovation in tourism industries. Chapters. 2014. pp. 1–24.

12 Nieves J., Segarra-Cipres M. Management innovation in the hotel industry. Tourism Management. 2015. vol. 46. pp. 51–58.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Юлия А. Солодовник к.э.н., доцент, кафедра экономики и финансов, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при президенте РФ, Липецкий филиал, ул. Интернациональная, 3, Липецк, 398050, Россия, juliya198708@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Юлия А. Солодовник полностью подготовила рукопись и несет ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 05.10.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 09.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Juliya A. Solodovnik Cand. Sci. (Econ.), associate professor, economics and finance department, Lipetsk branch of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Internatsionalnaya Str., 3 Lipetsk, 398050, Russia, juliya198708@mail.ru

CONTRIBUTION

Juliya A. Solodovnik fully prepared the manuscript and is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The author declares no conflict of interest.

RECEIVED 10.5.2018

ACCEPTED 11.9.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 360

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-371-377

Методология адаптивного управления промышленной парковой структурой на основе стейкхолдерского подхода

Андрей Е. Плахин [1] apla@usue.ru

1 Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта, 62, Екатеринбург, 620144, Россия

Аннотация. Целью научного исследования представленного в настоящей статьи является развитие методологических основ управления промышленными парковыми структурами как объектами управления. Обоснована необходимость разработки и развития адаптивного управления в современных экономических условиях. Автор поставил задачу исследовать возможности применения технологии адаптивного управления в контексте развития теории стейкхолдерского подхода в отношении промышленных парковых структур, предусматривающих участие в их функционировании значительного числа заинтересованных сторон, оказывающих прямое и опосредованное влияние на деятельность и последующее распределение результатов этой деятельности между стейкхолдерами в виде различного рода эффектов. Центральной задачей адаптивного управления промышленной парковой структурой как объекта управления является поиск механизма адаптации стратегических приоритетов ее существования и соответствующего упорядочения решений и активностей в соответствии с выявленными стратегическими приоритетами. Выявлены характерные черты концепций адаптивного управления Management by objectives (MBO), предложенной в 1954 году Питером Друкером (DruckerP.), модифицированной системы Tableau de bord, разработанной Chiapello E., Lebas M., и концепциии адаптивного управления ключевых показателей эффективности Key Performance Indicators (KPI). В исследовании выявлены тенденции в структуре услуг, предоставляемых консалтинговыми компаниями по внедрению систем адаптивного управления в России. Представлен отраслевой разрез реализованных проектов по внедрению систем адаптивного управления в российских компаниях. Изучены методологические проблемы внедрения адаптивной системы управления. В заключении автор предлагает методологию адаптивного управления промышленной парковой структурой на основе построения комплекса стратегических мероприятий, нацеленных на выравнивание стратегии развития промышленной парковой структуры в зависимости от состояния индикаторов развития, в том числе для целей оперативности принятия решений по регулированию данной системы предусматривается формирование набора возможных вариантов действия при отклонении индикативной оценки результата деятельности стейкхолдера.

Ключевые слова: адаптивное управление, промышленная парковая структура, стратегические альтернативы, стейкхолдерский подход

Methodology of adaptive management of industrial park structure based on stakeholder approach

Andrey E. Plakhin [1] apla@usue.ru

1 Ural state University of Economics, 8 Marta St, 62, Ekaterinburg, 620144, Russia

Abstract. The purpose of the scientific research presented in this article is the development of the methodological bases for the management of industrial park structures as objects of management. The necessity of the development and development of adaptive management in modern economic conditions is substantiated. The author set the task of exploring the possibilities of adaptive management technology in the context of the development of a stakeholder approach theory for industrial park structures, involving a large number of stakeholders that directly and indirectly influence activities and the subsequent distribution of the results of these activities among stakeholders effects. The central task of the adaptive management of the industrial park structure as an object of management is the search for a mechanism to adapt the strategic priorities of its existence and the corresponding streamlining of decisions and activities in accordance with the identified strategic priorities. The characteristic features of Management by objectives (MBO), proposed in 1954 by Peter Drucker (DruckerP.), The modified Tableau de bord system developed by Chiapello E., Lebas M., and the concept and adaptive management of key performance indicators Key Performance Indicators (KPI). The study revealed trends in the structure of services provided by consulting companies for the implementation of adaptive management systems in Russia. A sectoral profile of implemented projects on the implementation of adaptive management systems in Russian companies is presented. The methodological problems of implementing an adaptive control system are studied. In conclusion, the author proposes a methodology for adaptive management of an industrial park structure based on building a set of strategic measures aimed at leveling the development strategy of an industrial park structure depending on the state of development indicators, including for the purpose of making decisions on regulating this system, the set of possible options in case of rejection of the indicative assessment of the result of the activity of the stakeholder.

Keywords: adaptive management, industrial Park structure, strategic alternatives, stakeholder approach

Введение

Необходимость разработки и развития методологии адаптивного управления обусловлена нарастанием динамики экономических и социально-политических факторов во второй половине и конце двадцатого века. Свойство адаптивности предполагает своевременную реакцию на комплексы изменяющихся условий деятельности и внутренней среды организации. Решение данной методологической задачи осуществляется путем поиска совокупности параметров и показателей, характеризующих состояние внутренней и внешней среды, а также упорядоченьем соответствующих процедур сбора, обработки и формирования информационно-аналитической базы для принятия эффективных управленческих решений.

На наш взгляд, центральной задачей адаптивного управления промышленной парковой

Для цитирования

Плахин А.Е. Методология адаптивного управления промышленной парковой структурой на основе стейкхолдерского подхода // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 371–377. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-371-377

For citation

Plakhin A.E. Methodology of adaptive management of industrial park structure based on stakeholder approach. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 371–377. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-371-377

структурой как объекта управления является поиск механизма адаптации стратегических приоритетов ее существования и соответствующего упорядочения решений и активностей в соответствии с выявленными стратегическими приоритетами. Современный управленческий инструментарий дифференциации деятельности стратегического характера, в свою очередь, позволяет осуществлять альтернативный выбор вариантов операционной деятельности и свидетельствует о наличии значительного числа перспективных направлений реализации стратегических интересов экономических субъектов, входящих в промышленную парковую структуру.

Исследователи в области адаптивного управления характеризуют его как своего рода синтез регулятора (адаптера) и возможных к реализации методов (инструментов) управления в зависимости от изменения параметров объекта управления или параметров внешней среды [1]. Таким образом, целью адаптивного управления становится подбор наиболее эффективных с точки зрения стратегического развития вариантов стратегии объекта управления. К задачам адаптивного управления следует отнести методологическую и организационную стороны процесса адаптивного управления, а также разработку практических механизмов реализации указанного процесса и последующую оценку результатов [2].

Сложность методологической задачи построения адаптивной системы управления для промышленной парковой структуры состоит в необходимости учета интересов стейкхолдеров парковой структуры. Необходимо, чтобы система управления содержала инструментарий, упорядочивающий целевые ориентиры развития отдельных стейкхолдеров в соответствии с общим целевым вектором развития. Показатели, характеризующие параметры развития парковой структуры, и регуляторы, определяющие, какой из способов воздействия применим к конкретному стейкхолдеру, должны быть взаимоувязаны единой системой управления, реализующей стратегический вектор развития. Для целей оперативности принятия решений по регулированию данной системы необходим набор возможных вариантов действия при отклонении индикативной оценки результата деятельности стейкхолдера.

Особенностью адаптивного управления промышленной парковой структурой является отсутствие однозначного субъекта управленческого воздействия, поскольку стейкхолдеры парковой структуры оказывают друг на друга взаимовлияние ресурсного и нормативного характера.

Именно такая структурная взаимосвязь комплекса стратегических мероприятий, нацеленных на выравнивание стратегии развития промышленной парковой структуры в зависимости от состояния индикаторов развития, и представляет собой методологию адаптивного управления промышленной парковой структурой.

Одной из первых концепций адаптивного управления является *Management by objectives (MBO)*, предложенная в 1954 году Питером Друкером (*Drucker P.*) [3]. Адаптационными характеристиками в данной системе обладал перечень целей и задач компании, который согласовывался со всеми уровнями менеджмента. В ходе указанного согласования происходили следующие адаптационные процедуры: распределялись полномочия и обязанности между иерархическими уровнями, формировался план конкретных мероприятий по достижению указанных целей и оговаривались инструменты контроля.

Следующей по детализации является модифицированная система *Tableau de bord*, разработанная *Chiapello E., Lebas M.* [4] на основании системы управленческой информации, распространенной во Франции на протяжении двадцатого века. В качестве адаптеров данная система включала широкий перечень как коммерческих, так и некоммерческих показателей, объединенных причинно-следственными связями.

Адаптивные системы управления на основании финансовых индикаторов часто связывают с системой управления на основе показателя *EVA*, отражающего экономическую добавленную стоимость *(Economic Value Added)*. Автор данной концепции *Stern Stewart* говорит, что концепция «*EVA-based management*» предполагает принятие решений на основе их влияния на добавленную стоимость к инвестициям акционеров. В данном случае адаптером является параметр увеличения стоимости предприятия, остальные функциональные сферы подчиняются приоритету финансового результата [5].

Ряд авторов выделяет недостатки приоритета финансового результата, поскольку прямая связь *Economic Value Added* и вознаграждения работников приводит к краткосрочным параметрам принятия решений с отказом от стратегических перспектив. В то же время финансовая сторона деятельности более формализована и шире освещена в различных видах отчетности, что позволяет сформировать жизнеспособную систему мониторинга адаптационных индикаторов. Особенно, по мнению автора, это актуально для промышленных парковых структур, поскольку их стейкхолдеры ведут учет и формируют отчетность в соответствии с общероссийскими нормативами, что позволяет сформировать адаптивную систему управления промышленной парковой структурой в разрезе стейкхолдеров.

Еще одной актуальной концепцией адаптивного управления является концепция ключевых показателей эффективности *Key Performance Indicators (KPI)* [6], включающая широкий перечень коммерческих и некоммерческих показателей, характеризующих уровень реализации стратегии. Основной замысел данной системы реализуется через последовательное этапирование: формулирование стратегии, поиск главных факторов успеха и присвоение им *KPI*.

Как уже говорилось, сбалансированная система показателей базируется на теории стратегических карт. Однако существуют и другие модели, оценивающие эффективность деятельности предприятия исходя из ее общей стратегии. Рассмотрим их подробнее.

Аналогично концепции *KPI* сформирована модель стратегических карт *Maisel L.S.* [7], главным отличием которой является визуализация причинно-следственных связей между показателями оценки реализации стратегии.

Показатели, характеризующие коммерческую составляющую стратегии компании, заложены в основу концепции *Mc Nair C.J., Lynch R.L., Cross K.F.* [8]. Данная концепция основана на идеях *Total Quality Management (TQM)* и описывает систему взаимосвязи, которая требуется для распространения показателей по уровням организационной структуры.

Наиболее многосторонней системой адаптивного управления является предложенная *Hubert K. Rampersad* универсальная система показателей [9] *Total Performance Scorecard: redefining management to achieve performance with integrity (TPS)*. Особенностью данной системы является систематизированный процесс постоянного улучшения, обучения и развития, направленный на стабильное улучшение показателей всего предприятия [10].

Концепция *Total Performance Scorecard: redefining management to achieve performance with integrity* состоит из пяти основных подсистем: общеорганизационная и личная система сбалансированных показателей, *Total Quality Management, Performance & Competence Management и Kolb's Learning Cycle*.

Обсуждение

Рассмотрим структуру услуг, предоставляемых консалтинговыми компаниями по внедрению систем адаптивного управления в России (рисунок 1).

На рисунке 1 представлена структура реализованных консалтинговых проектов крупнейшими участниками рынка управленческого консалтинга. Как видно, лидерство занимают узкоспециализированные направления: управление персоналом и организация производства.

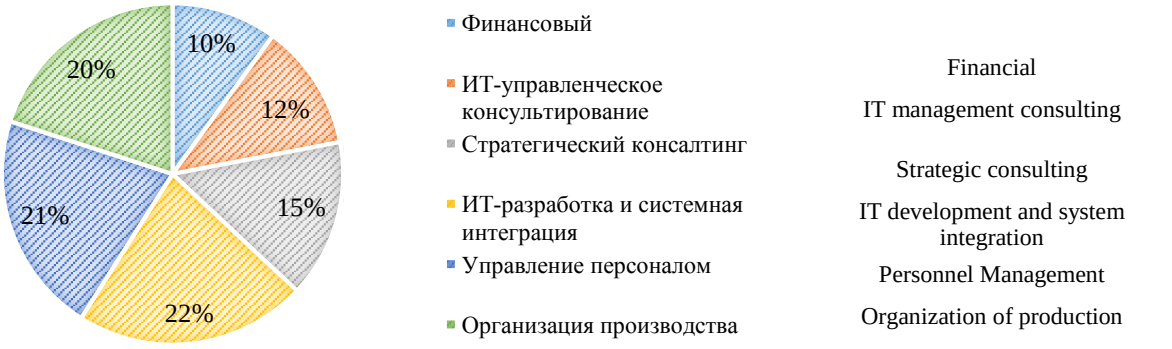


Рисунок 1. Структура услуг, предоставляемых консалтинговыми компаниями по внедрению систем адаптивного управления в России, 2016 г.[1]

Figure 1. Structure of services provided by consulting companies on implementation of adaptive management systems in Russia, 2016

К категории систем адаптивного управления можно отнести реализованные проекты по ИТ-разработке и системной интеграции, а также стратегическому консалтингу. Кроме того, к основной массе относятся проекты внедрения крупных ERP-систем и комплексные проекты автоматизации управления. Отраслевой разрез востребованности систем адаптивного управления приведен на рисунке 2.

Отраслевая характеристика внедрения систем адаптивного управления показывает высокий спрос со стороны сектора строительства и девелопмента и сопряженной отрасли производства строительных материалов. В разряде аутсайдеров находятся агропромышленный комплекс, здравоохранение и жилищно-коммунальное хозяйство. По мнению экспертов, для усиления конкурентных позиций отечественные компании большое внимание уделяют построению информационных систем и систем управления персоналом.

1 По данным отчета РБК // URL:http://ekb.rbcplus.ru/issue/5976b92c7a8aa96826713b7d

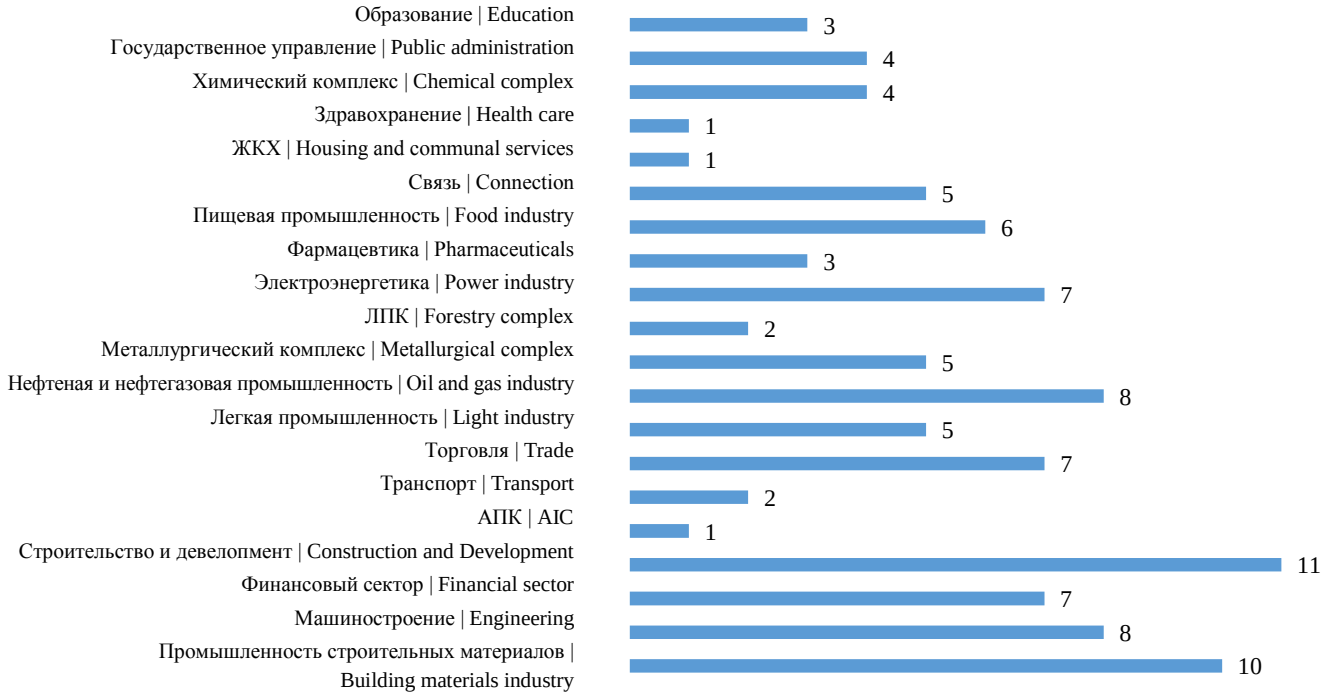


Рисунок 2. Отраслевой разрез реализованных проектов по внедрению систем адаптивного управления в российских компаниях, 2016 год, %[2]

Figure 2. Branch section of implemented projects on implementation of adaptive management systems in Russian companies, 2016, %

Помимо указанных направлений, наблюдается рост спроса на автоматизацию учетных процессов, их стандартизацию, внедрение систем сбора и обработки информации для отчетности.

Интересен и опыт внедрения адаптивных систем управления в крупнейших компаниях. Например, компания *Electrolux* использует построенную в рамках системы сбалансированных показателей систему «Динамической оценки бизнеса» (*Dynamic Business Measurement, DBM*), в которой показатели сгруппированы в разрезе отношения с потребителями, операционной деятельности, корпоративной культуры и финансовой деятельности [11]. В настоящее время *DBM* включает 16 ключевых показателей, 12 из которых – нефинансовые. В каждом секторе деятельности компании приоритетными считаются различные показатели из этого набора. При этом считается, что одновременно можно добиться оптимизации не более чем по 5–7 показателям. Таким образом, *DBM* представляет собой «меню», из которого каждое подразделение может выбрать ключевые показатели, в наибольшей степени соответствующие сложившейся у них ситуации. Для установления приоритетов в системе сбалансированных показателей используются весовые коэффициенты, характеризующие относительную важность конкретного показателя [12].

После определения структуры системы сбалансированных показателей ее формирование может вестись двумя путями:

— «сверху вниз», когда первоначально разрабатывается корпоративная ССП, которая затем разворачивается в ССП подразделений и т. д.;

— «пилотный проект», когда разработка начинается с ССП подразделений (одного или нескольких). Полученный в этом случае опыт используется затем при построении ССП на корпоративном уровне, что является более сложной задачей и требует привлечения больших ресурсов и высокой квалификации разработчиков, включая консультантов специализированных компаний [12].

По данным работы *Nils-Goran Olve, Jan Roy, Magnus Wetter* более трехсот крупнейших компаний мира используют различные виды систем адаптивного управления, в том числе *Hewlett Packard, Siemens, Philips, Volvo, Electrolux, DuPont, Mobil, AT&T, Motorola, Hilton, ABB, AVON*. При этом в России данные системы распространены в основном в вертикально-интегрированных сырьевых холдингах, а также в банковской сфере [13].

Необходимо отметить, что внедрение адаптивной системы управления сопряжено с некоторыми методологическими проблемами, ряд из которых представлен на рисунке 3. По результатам опроса, проведенного на 60 предприятиях, было выявлено, что они столкнулись со следующими проблемами:

[2] По данным отчета РБК // URL: http://ekb.rbcplus.ru/issue/5976b92c7a8aa96826713b7d

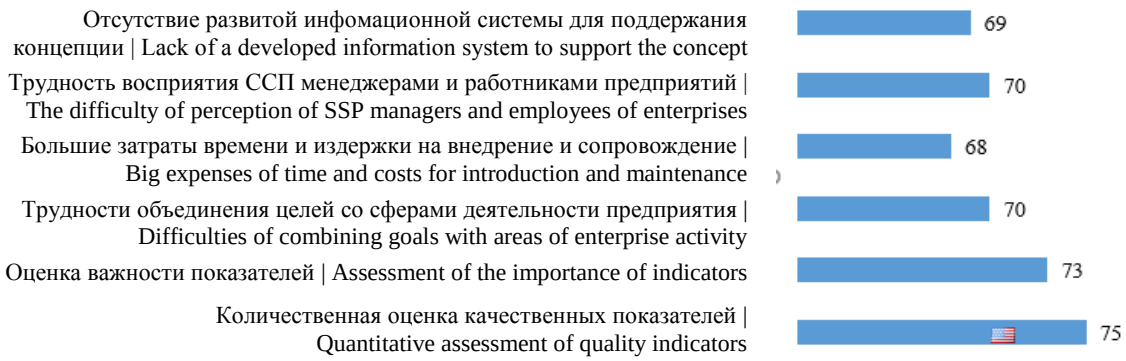


Рисунок 3. Методологические проблемы внедрения адаптивной системы управления, % [11]

Figure 3. Methodological problems of the implementation of the adaptive management system, % [11]

Из перечисленных выше методологических подходов формирования адаптивной системы управления для промышленной парковой структуры, по мнению автора, наиболее применимы подходы адаптации стратегии компании с помощью упорядочения финансовых показателей.

Поскольку показатели деятельности парковой структуры для отдельных стейкхолдеров могут постоянно меняться, а совокупные интересы не всегда отвечают целевому вектору развития, то необходимо индикаторам эффективности стратегического управления придать динамическую оценку, привязать их к результативности конкретного стейкхолдера и заложить механизм измерения отклонений фактических и эталонных значений.

Методологически важно привязать индикаторы к показателям дополнительных эффектов, генерируемых в рамках парковой структуры, что позволит объединить в одно целое интересы заинтересованных сторон. Реализация принципа динамизма оценки достигнутых значений индикаторов возможна с использованием принципа упорядочения динамики показателей, предложенного И.М. Сыроежиным [14].

Эталонное упорядочение показателей динамики позволит привязать оценку стратегии промышленной парковой структуры к заданному целевому вектору развития. Таким образом будут реализовываться методологические принципы динамической сопоставимости – единый показатель оценки для всех стейкхолдеров, характеризующий получение доли дополнительного эффекта, сформированного в рамках парковой структуры, и принцип динамической соподчиненности – упорядочения доли «дополнительного» эффекта, присвоенного конкретным стейкхолдером.

Реализация данных принципов позволит перевести показатели доходности в разряд адаптеров, на основании которых будет производиться регулирование параметров развития промышленной парковой структуры. Так, например, в ходе деятельности промышленной парковой структуры наибольшую долю дополнительных эффектов должны присваивать резиденты, на втором месте находится управляющая компания и на третьем месте органы государственной власти в лице получателей налоговых доходов. Нарушение данного порядка свидетельствует об отклонении от целевого вектора развития промышленной парковой структуры и необходимости применения корректирующих мер.

По сути, данная методология дополнительно позволяет теоретически обосновать дуализм позиции стейкхолдера промышленной парковой структуры, представляющий собой двойственность целей стейкхолдера, с одной стороны, пытающегося реализовать собственный коммерческий успех, а с другой – обеспечить успешное функционирование всей промышленной парковой структуры.

Возникающая асимметрия распределения дополнительных эффектов в процессе функционирования промышленной парковой структуры фактически может являться адаптером в системе адаптивного управления парковой структурой. Для выявления асимметрии распределения дохода стейкхолдеров в рамках промышленных парковых структур автором предлагается использование модели индексного нормирования результативности [15], в соответствии с которой вся совокупность доходов стейкхолдеров промышленной парковой структуры преобразуется в относительные темпы изменения удельного веса дохода каждого стейкхолдера. Данный факт и обусловливает динамическую сущность используемой модели, в рамках которой производится оценка динамики структуры распределения дохода и ее соответствие эталонной модели, отражающей развитие всей промышленной парковой структуры.

Заключение

В результате теоретического обобщения концепций адаптивного управления автор решает методологическую задачу построения адаптивной системы управления для промышленной парковой структуры, предусматривающей необходимость учета интересов стейкхолдеров парковой структуры. Сделан акцент на необходимости наличия в адаптивной системе управления инструментария, позволяющего упорядочить целевые ориентиры развития отдельных стейкхолдеров в соответствии с общим целевым вектором развития промышленной парковой структуры. Обосновано, что показатели, характеризующие параметры развития парковой структуры, и регуляторы, определяющие, какой из способов воздействия применим к конкретному стейкхолдеру, должны быть взаимоувязаны единой системой управления, реализующей стратегический вектор развития.

Кроме того, автором предлагается методология адаптивного управления промышленной парковой структурой на основе построения комплекса стратегических мероприятий, нацеленных на выравнивание стратегии развития промышленной парковой структуры в зависимости от состояния индикаторов развития. Для целей оперативности принятия решений по регулированию данной системы предусматривается формирование набора возможных вариантов действия при отклонении индикативной оценки результата деятельности стейкхолдера. Автор приходит к выводу о необходимости динамической оценки индикаторов эффективности стратегического управления, с тем чтобы привязать их к результативности конкретного стейкхолдера и заложить механизм измерения отклонений фактических и эталонных значений.

С целью привязки стратегии промышленной парковой структуры к заданному вектору развития автором предлагается формирование эталонного упорядочения показателей динамики. Тем самым реализуются методологические принципы динамической сопоставимости, когда используется единый показатель оценки для всех стейкхолдеров. В рамках настоящего исследования данным показателем был критерий, характеризующий получение доли дополнительного эффекта, сформированного в рамках парковой структуры.

В качестве адаптера в системе адаптивного управления промышленной парковой структурой автором предлагается использовать асимметрию распределения дополнительных эффектов. Для выявления асимметрии распределения дохода стейкхолдеров в рамках промышленных парковых структур автором предложено использовать модель индексного нормирования результативности, в соответствии с которой вся совокупность доходов стейкхолдеров промышленной парковой структуры преобразуется в относительные темпы изменения удельного веса дохода каждого стейкхолдера. Производится оценка динамики структуры распределения дохода и ее соответствие эталонной модели, отражающей развитие всей промышленной парковой структуры.

ЛИТЕРАТУРА

1 Городилов А.Б., Веселовская В.С. Адаптивное управление наукоемким машиностроительным производством. Москва, 2017.

2 Городилов А.Б. Обеспечение экономической устойчивости предприятия на основе адаптивного управления // Актуальные проблемы экономики и права. 2011. № 3. С. 91–97.

3 Drucker P. The Practice of Management: 1st ed. New York: Harper, 1954.

4 Chiapello E., Lebas M. The tableau de bord, a french approach to management information, working paper (revised third draft). 2001.

5 Mocciaro Li Destri A., Picone P.M., Mina A. Bringing Strategy Back into Financial Systems of Performance Measurement: Integrating EVA and PBC // Business System Review. 2012. V. 1. № 1. P. 85–102.

6 Parmenter D. Key Performance Indicators: Developing, Implementing and Using Winning KPIs. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2007. 448 p.

7 Maisel L.S. Performance measurement: the Balanced Scorecard approach // Journal of Cost Management. 1992. № 6 (2). P. 47–52.

8 Mc Nair C.J., Lynch R.L., Cross K.F. Do Financial and Nonfinancial Performance Measures Have to Agree? // Management Accounting. 1990. P. 28–35.

9 Рамперсад Х.К. Универсальная система показателей деятельности: Как достигать результаты, сохраняя целостность: пер. с англ. М.: Альпина Бизнес Букс, 2004. 352 с.

10 Хачатуров А.Е., Белковский А.Н. Современный интеграционный менеджмент. Москва, 2006.

11 Н.-Г. Ольве, Рой Ж., Веттер М. Сбалансированная система показателей. Практическое руководство по использованию. 2006. 304 с.

12 Гилева Т.А. Использование сбалансированной системы показателей в практике управления промышленными предприятиями // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2006. Т. 7. № 2. С. 188–194.

13 Резник Р.М., Рухляда Н.О. Возможности использования системы сбалансированных показателей на российских предприятиях // Неделя науки СПбГПУ: материалы научно-практической конференции с международным участием. СПб: СПбГПУ, 2014. С. 387–388.

14 Сыроежин И.М., Павлов Г.С. Системный анализ процессов социалистической урбанизации. Ленинград, Ленинградский финансово-экономический институт им. Н.А. Вознесенского (ЛФЭИ), 1980.

15 Батов А.А. Оценка результативности промышленной корпорации на основе показателей управленческого учета. Ижевск: ГОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет», 2005. 25 с.

16 Плахин А.Е., Коковихин А.Ю., Огородникова Е.С., Суслов С.А. Оценка влияния инфраструктурных проектов на развитие территории // Вестник НГИЭИ. 2017. № 11 (78). С. 139–147.

17 Бессарабов В.О. Концепция «Открытого общества» как основа развития предпринимательства // Вестник НГИЭИ. 2017. № 12 (79). С. 87–102.

REFERENCES

1 Gorodilov A.B., Veselovskaya V.S. Adaptivnoe upravlenie naukoemkim mashinostroitel'nym proizvodstvom [Adaptive management of high-tech machine-building production]. Moscow, 2017. (in Russian).

2 Gorodilov A.B. Ensuring the economic sustainability of the enterprise on the basis of adaptive management. *Aktual'nye problemy ehkonomiki i prava* [Actual problems of economics and law]. 2011. no. 3. pp. 91–97. (in Russian).

3 Drucker P. The Practice of Management: 1st ed. New York, Harper, 1954.

4 Chiapello E., Lebas M. The tableau de bord, a french approach to management information, working paper (revised third draft). 2001.

5 Mocciaro Li Destri A., Picone P.M., Mina A. Bringing Strategy Back into Financial Systems of Performance Measurement: Integrating EVA and PBC. Business System Review. 2012. vol. 1. no. 1. pp. 85–102.

6 Parmenter D. Key Performance Indicators: Developing, Implementing and Using Winning KPIs. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2007. 448 p.

7 Maisel L.S. Performance measurement: the Balanced Scorecard approach. Journal of Cost Management. 1992. no. 6 (2). pp. 47–52.

8 Mc Nair C.J., Lynch R.L., Cross K.F. Do Financial and Nonfinancial Performance Measures Have to Agree? Management Accounting. 1990. pp. 28–35.

9 Rampersad H.K. Universal'naya sistema pokazatelej deyatel'nosti: Kak dostigat' rezul'taty, sohranyaya celostnost' [Universal system of performance indicators: How to achieve results while maintaining integrity]. Moscow, Alpina Business Books, 2004. 352 p. (in Russian).

10 Hachaturov A.E., Belkovskij A.N. Sovremennyj integracionnyj menedzhment [Modern integration management]. Moscow, 2006. (in Russian).

11 N.-G. Ol've, Roj Zh., Vetter M. Sbalansirovannaya sistema pokazatelej. Prakticheskoe rukovodstvo po ispol'zovaniyu [Balanced scorecard. A practical guide to use]. 2006. 304 p. (in Russian).

12 Gileva T.A. The use of a balanced system of indicators in the practice of industrial enterprise management. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviacionnogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Ufa State Aviation Technical University]. 2006. vol. 7. no. 2. pp. 188–194. (in Russian).

13 Reznik R.M., Ruhlyada N.O. Possibilities of using the balanced scorecard at Russian enterprises. Nedelya nauki SPbGPU [Science Week SPbSPU: materials of the scientific and practical conference with international participation]. SPb: SPbSPU, 2014. pp. 387–388. (in Russian).

14 Syroezhin IM, Pavlov G.S. Sistemnyj analiz processov socialisticheskoj urbanizacii [System analysis of the processes of socialist urbanization]. Leningrad, Leningrad Financial and Economic Institute. N.A. Voznesensky (LFEE), 1980. (in Russian).

15 Batov A.A. Ocenka rezul'tativnosti promyshlennoj korporacii na osnove pokazatelej upravlencheskogo ucheta [Performance evaluation of an industrial corporation based on management accounting indicators]. Izhevsk, GOU VPO “Izhevsk State Technical University”, 2005. 25 p. (in Russian).

16 Plahin A.E., Kokovihin A.YU., Ogorodnikova E.S., Suslov S.A. Evaluation of the impact of infrastructure projects on the development of the territory. *Vestnik NGIEHI* [Herald NGIEI]. 2017. no. 11 (78). pp. 139–147. (in Russian).

17 Bessarabov V.O. The concept of “Open Society” as the basis for the development of entrepreneurship. *Vestnik NGIEHI* [Herald NGIEI]. 2017. no. 12 (79). pp. 87–102. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Андрей Е. Плахин к.э.н., Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта, 62, Екатеринбург, 620144, Россия, apla@usue.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Andrey E. Plakhin Cand. Sci. (Econ.), Ural state University of Economics, 8 Marta St, 62, Ekaterinburg, 620144, Russia, apla@usue.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Андрей Е. Плахин полностью подготовил рукопись и несет ответственность за плагиат

CONTRIBUTION

Andrey E. Plakhin fully prepared the manuscript and is responsible for plagiarism

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST

The author declares no conflict of interest.

ПОСТУПИЛА 01.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 16.11.2018

RECEIVED 9.1.2018

ACCEPTED 11.16.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 360

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-378-383

Механизм привлечения инвестиций в региональную экономику на примере Воронежской области

Александр Н. Десятириков [1] industry@govvrn.ru
Юрий Б. Нечаев [2] nechaev_ub@mail.ru
Елена Н. Десятирикова [3] science2000@ya.ru
Елена А. Лютова [4]

[1] Департамент промышленности Воронежской области, проспект Революции, д.33, г. Воронеж, 394000, Россия
[2] Воронежский государственный университет, Университетская пл., 1, г. Воронеж, 394018, Россия
[3] Воронежский государственный технический университет, Московский пр-т, 14, Воронеж, 394000, Россия
[4] АО «Концерн «Созвездие», ул. Плехановская, 14, Воронеж, 394018, Россия

Аннотация. Предложен концептуальный подход к привлечению инвестиций в Воронежскую область, который характеризуется учётом особенностей региона в социальной, хозяйственной, геополитической сферах деятельности. Проведен анализ и оценка существующих ресурсов экономического роста: кадрового потенциала, географического положения региона, сырьевых и природных ресурсов, обеспеченности региона инженерными ресурсами. Сформулированы основные принципы создания экспорториентированной экономики: поддержка отечественных производителей, работающих в соответствии с международными стандартами качества; углубление степени переработки сырьевых ресурсов, поставляемых на международный рынок; привлечение инвестиций в сферу производства. В условиях санкционной геополитической обстановки обоснована необходимость агрессивной концепции по привлечению инвестиций в экономику региона. В этом аспекте проведен сравнительный анализ состояния экономики Воронежской области и других региональных экономик. Показаны пути решения проблем, связанных с привлечением инвестиций в регион, в основе которых лежит принцип привлечения компаний «большой четверки» (Ernst & Young, Delloite & Touche, KPMG, PricewaterhouseCooper) к разработке концепции инвестиционной политики региона на условиях аутсорсинга. Найденные решения косвенно верифицированы на примере опыта инвестиционного менеджмента на государственном уровне (опыт КНР). Учтён и развит положительный опыт повышения инвестиционной привлекательности, полученный в ходе организационно-административной деятельности авторов в руководстве ОАО «Концерн «Созвездие».

Ключевые слова: инвестиционная политика, инвестиционный менеджмент, инвестиционный проект

The mechanism of attracting investment in the regional economy on the example of the Voronezh region

Aleksandr N. Desyatirikov [1] industry@govvrn.ru
Yuriy B. Nechaev [2] nechaev_ub@mail.ru
Elena N. Desyatirikova [3] science2000@ya.ru
Elena A. Lyutova [4]

[1] Department of Industry of the Voronezh Region, Prospekt Revolucii, 33, Voronezh, Russia, 394000
[2] Voronezh state university, Universitetskaya pl., 1, Voronezh, 394018, Russia
[3] Voronezh state technical university, Moscow av., 14, Voronezh, 394000, Russia
[4] JSC Polus, Krasnodonskaya str., 16B, Voronezh, 394019, Russia

Abstract. A conceptual approach to attracting investment in the Voronezh region, which is characterized by taking into account the peculiarities of the region in the social, economic, geopolitical areas of activity, is proposed. The analysis and assessment of existing resources for economic growth: human resources, geographical location of the region, raw materials and natural resources, provision of the region with engineering resources. The basic principles of creating an export-oriented economy are formulated: support for domestic manufacturers operating in accordance with international quality standards; deepening the degree of processing of raw materials supplied to the international market; Attraction of investments in the sphere of production. In the context of the sanctions geopolitical situation, the need for an aggressive concept to attract investment in the region's economy has been substantiated. In this aspect, a comparative analysis of the state of the economy of the Voronezh region and other regional economies was carried out. The ways of solving problems related to attracting investments to the region, based on the principle of attracting the Big Four companies (Ernst & Young, Delloite & Touche, KPMG, PricewaterhouseCooper) to the development of the concept of regional investment policy on outsourcing terms, are shown.The solutions found are indirectly verified using the example of investment management experience at the state level (the experience of the PRC). The positive experience of increasing the investment attractiveness obtained in the course of the organizational and administrative activities of the authors in the management of Concern Sozvezdie OJSC has been taken into account and developed.

Keywords: investment policy, investment management, investment project

Для цитирования

Десятириков А.Н., Нечаев Ю.Б., Десятирикова Е.Н., Лютова Е.А. Механизм привлечения инвестиций в региональную экономику на примере Воронежской области // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 378–383. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-378-383

For citation

Desyatirikov A.N., Nechaev Yu.B., Desyatirikova E.N., Lyutova E.A. The mechanism of attracting investment in the regional economy on the example of the Voronezh region. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 378–383. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-378-383

Введение

В соответствии с поляризованной полицентрической моделью, приведенной в «Концепции стратегий пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года», Воронежская область определена одной из четырёх технологических платформ, расположенных вне Московской области (ещё две платформы находятся в Санкт-Петербурге и по одной – в Томской области, в Красноярском крае и Республике Татарстан) [1]. Опорными регионами (точками роста экономики страны), расположенными в непосредственной близости к Воронежской области, являются Белгородская и Липецкая области, которые характеризуются наличием сырьевых ресурсов (Белгородская область) и локомотивных предприятий (Липецкая область), но в большей мере это проявление инициативности региональных властей. В том же документе обозначена основная задача органов исполнительной власти фоновых регионов – обеспечить равноправный доступ населения области к бюджетным ресурсам.

Воронежская область обладает достаточным потенциалом для поддержки статуса региона. Для работы по реализации такого потенциала необходимо корректно оценить существующие ресурсы, что позволит правильно определить вектор приложения сил в развитии региона.

Оценка ресурсов

Из опыта работы с консалтинговыми компаниями, изучающими возможность размещения инвестиционных проектов в России, можно сделать вывод о наличии в Воронежской области следующих ресурсов.

1. Кадровый потенциал. Воронежская область имеет репутацию кадрового донора в соседних регионах. Система высшего образования в регионе формировалась с учетом развитого военно-промышленного сектора [2]. В связи с сокращением военного заказа и свертыванием ряда производств образовалось большое количество невостребованных специалистов преимущественно технических специальностей. Наличие города с населением более 1 млн человек также является весьма привлекательным фактором для размещения крупных промышленных предприятий. Весьма показательным является размещение в Воронеже учебного центра и подразделения по обработке документации компанией «Atos». Кадровым ресурсом заинтересовались не только за границами региона, но и за границами РФ.

2. Географическое положение региона. Расположение Воронежской области является весомым аргументом для размещения крупных производственных проектов. Железнодорожная сеть региона включает в себя ряд крупных транспортных узлов (Воронеж, Лиски, Поворино), которые связывают направления север – юг и запад – восток. По территории области проходит важнейшая автомагистраль М4 (Дон), являющаяся основной артерией РФ в южном направлении. Относительная близость к столице страны (540 км), а также к границе с Украиной позволяет планировать сбалансированные логистические цепи в этих направлениях (в последнем случае – перспективно). Лесостепная зона, в которой расположена область, характеризуется спокойным рельефом. Отсутствуют геологические разломы, что гарантирует низкую сейсмическую активность в регионе.

Минусом в расположении региона является существенная удаленность от морских портов.

3. Сырьевые и природные ресурсы. Основным достоянием региона являются черноземные почвы, что делает область привлекательной для размещения предприятий по переработке сельхозпродукции.

Разведанные полезные ископаемые представлены месторождениями гранита, кварцевого песка, мела, каолиновой глины. В условиях возрастающих объемов строительства в стране растет инвестиционная активность компаний, производящих строительные материалы. Воронежская область, безусловно, интересна для размещения производственных мощностей ввиду имеющихся месторождений, а также выгодного географического расположения.

4. Обеспеченность региона инженерными ресурсами. Существующие генерирующие мощности позволяют полностью удовлетворить потребности региона, а также реализовывать 40 % электроэнергии за пределы области. Это связано с окончанием строительства и вводом в эксплуатацию 2 новых блоков Нововоронежской АЭС. В области практически отсутствуют веерные отключения электроэнергии, что весьма привлекательно для предприятий с непрерывным циклом производства и потребляющих большие объемы электроэнергии.

По территории области проходит ряд магистральных газопроводов, а также нефтепровод в северной части региона. Уровень газификации районов области достигает 90 %, что является самым высоким показателем в ЦФО. Обеспеченность водными ресурсами является сильной стороной региона. Поверхностные воды (Воронежское водохранилище, реки Дон, Воронеж, Хопер и др.), а также большие возобновляемые запасы грунтовых вод практически исключают возникновение дефицита как питьевой, так и технической воды.

Обозначенные оценки были высказаны в ходе изучения площадок для размещения инвестиционных проектов с компаниями: KPMG (Германия), BMI (Бельгия), Cushman & Wakefield (Великобритания), Scania (Швеция), Siemens (Германия), OFS RUS (США).

Размещение инвестиционных проектов как основа роста экономики региона

В условиях внешнеполитического потенциала РФ политика импортозамещения в производстве товаров и услуг становится в один ряд по значимости с практикой поддержки и создания экспорториентированных предприятий [3].

Экспорториентированные производственные мощности покрывают как потребности внутреннего рынка в товарах и услугах, так и позволяют активно использовать преимущества страны и региона в процессах интеграции экономики в мировую систему. На базе опыта работы в КНР можно сформулировать основные принципы создания экспорториентированной экономики.

1. Поддержка отечественных производителей, работающих в соответствии с международными стандартами качества. Правительство КНР активно пропагандирует и оказывает существенную государственную поддержку компаниям, прошедшим сертификацию производства по стандартам ISO (International Standard Organization). Также оказывается финансовая и другие виды поддержки международным компаниям, оказывающим услуги в сфере технического аудита и сертификации (SGS Intl., ITS, Bureau Veritas и др.). Правительство выступает в качестве финансового партнера в создании лабораторий и центров сертификации, а также активно субсидирует сертификационные мероприятия для отечественных производителей.

2. Углубление степени переработки сырьевых ресурсов, поставляемых на международный рынок. Данный принцип наиболее интересен для экономики страны в целом и региона. В условиях непрерывного роста цен на углеводородное сырье российская экономика, с одной стороны, получает колоссальный финансовый приток, но, с другой стороны, подвергается риску попадания в зависимость от цен на мировом рынке. Очевидной задачей является создание производственных мощностей по углублению переработки экспортируемых природных ресурсов. Выполнение такой задачи обеспечит переход от доиндустриальной экономики (основанной на экспорте необработанных природных ресурсов) к индустриальной (основанной на получении добавленной стоимости в материальном производстве). Для выполнения указанной задачи на уровне Воронежской области необходимо более тесное сотрудничество с компаниями, занятыми в транспортировке сырой нефти и газа по магистральным трубопроводам, проходящим по территории области.

3. Привлечение инвестиций в сферу производства. Мощным импульсом в развитии экономики региона может стать привлечение инвестиций в сферу производства, а именно в создание новых предприятий, использующих передовые технологии. В настоящее время возникла серьезная конкуренция среди регионов РФ в привлечении инвестиционных проектов, в особенности иностранных. Основная борьба происходит при изучении возможности размещения так называемых локомотивных проектов. Данное обстоятельство вызвано эффектом мультипликативности, который возникает при размещении подобных предприятий [4]. Наглядный пример – размещение автосборочных предприятий, вызывающее поток инвестиций в сопутствующие производства. Так, при размещении в Калуге автосборочного предприятия Volkswagen на территории 120 га поставщики комплектующих на конвеер компании заняли площадь порядка 400 га, и процесс размещения связанных производств не завершился. То есть при размещении системного предприятия автоматически возникает кластер (группа технологически взаимосвязанных производств). Таким проектам оказывается беспрецедентная государственная поддержка, причем не только в РФ. Ярким примером послужило требование правительства Германии к компании Nokia о возврате 40 млн евро, высказанное при переносе предприятия концерна из Германии в Венгрию. Общая стоимость проекта оценивалась в 270 млн евро. Сумма требований 40 млн евро сложилась из прямых субсидий в объекты инфраструктуры проекта и налоговых льгот, предоставленных правительством предприятию. Стало очевидным, что формирование промышленной зоны при наличии локомотивного предприятия занимает существенно меньше времени, чем формирование промзоны путем предоставления площадок равноправным инвестиционным проектам, группирующимся на сырьевой или логистической базе.

Формирование концепции региональной инвестиционной политики

В условиях возрастающей конкуренции регионов РФ необходимо уделить повышенное внимание разработке агрессивной концепции по привлечению инвестиций в экономику региона.

Данная концепция должна отражать переход от работы над входящими запросами к активному продвижению возможностей региона в инвестиционно активных отраслях промышленного производства.

Для уверенного движения в данном направлении необходимо осознать выгоды, которые несет в регион реализация инвестиционных проектов в сфере производства. Зачастую подсчитывается бюджетная эффективность проекта, и на этом рассмотрение заканчивается. Не принимаются во внимание следующие моменты.

1. Рост кадрового потенциала в регионе. Предприятия, по сути дела, являются инициаторами развития системы высшего образования и базой для применения теоретических знаний [5]. Иностранные предприятия позволяют изучать мировой опыт по снижению издержек производства, что необходимо для процесса интеграции, а также мировой опыт в сфере контроля качества производимой продукции.

2. Рост спроса на товары и услуги, производимые в регионе. По различным оценкам, от 50 до 70% средств, выплаченных в виде заработной платы сотрудникам предприятий, затрачивается на товары и услуги, произведенные в регионе. Указанные платежи отражаются на увеличении бюджетных поступлений и ведут к созданию дополнительных рабочих мест в регионе.

3. Создаются предпосылки для возникновения отечественных производителей конкурентоспособной продукции. Интересен опыт КНР, которая использует иностранные предприятия как полигон для обучения собственных специалистов с целью их дальнейшего трудоустройства на отечественных предприятиях. Так, менеджмент компании TCL (производитель бытовой техники и электроники) практически полностью состоит из местных специалистов, работавших на предприятиях Sony, расположенных в провинции Гуандун (КНР). Аналогичная ситуация наблюдается и в автомобильной промышленности КНР. На первом этапе при поддержке правительства были размещены производственные мощности компаний Volkswagen, Audi, Toyota и др. Второй этап состоял в закупке государством лицензий на производство некоторых моделей автомобилей и безвозмездной передаче их отечественным автопроизводителям. Третий этап мы наблюдаем в настоящее время: китайские автопроизводители активно выходят на мировой рынок, а также происходит активное поглощение мировых брендов, находящихся в затруднительном финансовом положении, китайскими компаниями. Все это стало возможно в результате практического изучения производственных традиций компаний – лидеров на мировом рынке.

Это далеко не полный перечень возможных выгод для экономики региона и страны в целом.

Агрессивная концепция региональной инвестиционной политики должна давать однозначные ответы на следующие вопросы.

1) Какие отрасли промышленного производства испытывают наибольшую инвестиционную активность в РФ?

Анализ инвестиционной активности должен содержать текущую ситуацию в стране, а также прогноз по сохранению, росту или спаду в пятилетней перспективе.

2) Каковы конкурентные преимущества Воронежской области, и на каких отраслях необходимо сконцентрировать свои усилия региональным властям в привлечении инвестиций?

Необходимо изучить политику и специализацию соседних регионов во избежание дублирования инвестиционных предложений с соседями.

3) Какова должна быть структура органа или органов, непосредственно отвечающих за привлечение инвестиций в экономику региона?

К сожалению, Воронежская область не является лидером в привлечении инвестиций. Анализ опыта лидирующих регионов (Санкт-Петербург, Нижегородская, Московская, Калужская области) даст возможность правильно сформировать необходимые структуры.

4) Какой должна быть региональная законодательная база, касающаяся оказания мер государственной поддержки инвестиционным проектам?

Аналогичная предыдущей ситуация. Анализ и адаптация существующего в передовых регионах инвестиционного законодательства позволит быстро сформировать необходимую базу.

5) Сколько должно быть создано промышленных зон и какова их оптимальная площадь с учетом специализации?

Как показывает практика, формирование промышленных зон является оптимальным и наименее затратным в плане обеспечения инфраструктурой методом размещения инвестиционных проектов в сфере материального производства. Компании-инвесторы затрачивают меньше времени и ресурсов на изучение возможности размещения предприятий в случае предоставления готовой промплощадки с проведенными предварительными изысканиями, обеспеченной необходимой инженерной инфраструктурой. Следовательно, создание промышленных зон существенно повысит инвестиционную привлекательность региона.

6) Как донести до потенциального инвестора инвестиционную декларацию региона?

Необходимо провести анализ профессиональных объединений в интересующих отраслях промышленности. Также необходимо принимать участие в мероприятиях, проводимых подобными профессиональными объединениями. Это позволит эффективно корректировать вектор приложения усилий в привлечении инвестиций и вступать в контакт с целевой аудиторией с гораздо большей результативностью, нежели проведение мероприятий с широким охватом инвестиционно активных отраслей.

7) Каким параметрам должен отвечать инвестиционный проект, предлагаемый к реализации региональными властями?

Инвестиционные проекты, предлагаемые региональными властями к совместной реализации, порой не содержат внятного экономического обоснования, что неприемлемо для потенциальных партнеров, являющихся коммерческими предприятиями.

Из опыта работы с консалтинговыми компаниями можно сказать: попытка предложить провести экономический анализ потенциальному партнеру заведомо обречена на провал, т. к. наибольшее, на что можно рассчитывать, – это проведение экспертизы подготовленного экономического обоснования [6].

Существует два возможных пути поиска ответов на поставленные вопросы [7].

- Самостоятельный поиск решений и проведение анализа. Данный путь наименее затратен, но требует большого временного ресурса и подвержен возникновению ошибочных решений, которые будут отражаться на всей концепции в целом [8]. Потребуются корректировки, в результате выполнения которых может быть утеряна целостность концепции.
- Привлечение консалтинговых компаний «большой четверки» (Ernst & Young, Delloite & Touche, KPMG, PricewaterhouseCooper), активно работающих над размещением инвестиционных проектов в России, к разработке концепции инвестиционной политики региона на условиях аутсорсинга.

Безусловно, этот путь более затратен, но на большинство из поставленных вопросов уже имеется ответ у данных компаний ввиду продолжительной профессиональной деятельности в России. Работа над концепцией будет сведена к адаптации накопленного опыта к условиям Воронежской области. Время разработки концепции инвестиционной политики будет сведено до минимума, вероятность возникновения ошибок – минимизирована. Разработанная при посредничестве указанных компаний инвестиционная декларация, без сомнения, будет распространена среди клиентов консалтинговых агентств, что может привести к началу работы с потенциальными компаниями-инвесторами еще в ходе разработки концепции.

Заключение

Предложена инновационная концепция развития экономического потенциала Воронежской области на основе повышения эффективности инвестиционной политики развития социально-экономического потенциала региона. Сформулированы основные принципы и задачи инвестиционной политики, показаны пути решения проблем, связанных с привлечением инвестиций в регион. Найденные решения косвенно верифицированы на примере опыта инвестиционного менеджмента на государственном уровне (опыт КНР) и инновационного научно-производственного предприятия федерального значения (АО «Концерн «Созвездие»).

ЛИТЕРАТУРА

1 О содержании, составе, порядке разработки и утверждения Стратегии пространственного развития Российской Федерации, а также о порядке осуществления мониторинга и контроля ее реализации. Концепция «Стратегии пространственного развития РФ до 2030 года» (постановление Правительства Российской Федерации № 870 от 20 августа 2015 года). URL: http:// карьеры-евразии.рф/uploadedFiles/files/Kontseptsiya_SPR.pdf

2 Volkova V.N., Loginova A.V, Desyatirikova E. N., Belousov V.E. et al. Simulation modeling of a technological breakthrough in the economy // 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus). 2018. P. 1293-1297. doi**:** 10.1109/EIConRus.2018.8317332

3 Лутченко Т.В., Нечаев Ю.Б., Шестопалов А.Ю. Модель формирования стратегии развития предприятия, входящего в интегрированную структуру ОПК // Теория и техника радиосвязи. 2016. № 4. С. 108–114.

4 Klochkova E.S., Alasas B.M., Esedulaev R.R., Tveryakov A.M. et al. Assessment of the quality of higher professional education on the basis of professional and social accreditation // 2017 IEEE VI Forum Strategic Partnership of Universities and Enterprises of Hi-Tech Branches (Science. Education. Innovations) (SPUE). 2017. P. 137–140. doi: 10.1109/IVForum.2017.8246073

5 Штефан Е.В., Нечаев Ю.Б. Выбор направления развития дочернего предприятия в современных условиях // Теория и техника радиосвязи. 2017. № 1. С. 101–103.

6 Десятириков А.Н., Гасилов В.В., Десятирикова Е.Н. Информационный подход к синтезу организационной структуры уникального проекта // Системы управления и информационные технологии. 2006. № 1 (23). С. 237–241.

7 Desyatirikov A.N., Desyatirikova E.N., Sergeeva S.I., Mager V.E. et al. Investment Mechanisms to Improve the Sustainability of the Development of the Region by the Example of the Voronezh Region // 2018 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies". 2018. P. 832–835.

8 Vilkov V.B., Chernykh A.K., Nefed'yev S.A., Motorygin Y.D. et al. Transportation management of facilities for rescue operations upon disaster mitigation // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018. V. 9. № 1. P. 676-687.

9 Виниченко В.А. «Баланс взаимодействия» – об особенностях эффективности функционирования регионов России // Вестник НГИЭИ. 2017. № 11 (78). С. 101-110.

10 Рзун И.Г., Старкова Н.О. Управление конкурентоспособностью региона // Вестник НГИЭИ. 2016. № 11 (66). С. 89-99.

REFERENCES

1 O soderzhanii, sostave, poryadke razrabotki i utverzhdeniya Strategii prostranstvennogo razvitiya Rossijskoj Federacii, a takzhe o poryadke osushchestvleniya monitoringa i kontrolya ee realizacii. Koncepciya "Strategii prostranstvennogo razvitiya RF do 2030 goda" [On the content, composition, procedure for developing and approving the Spatial Development Strategy of the Russian Federation, as well as on the procedure for monitoring and controlling its implementation. The concept of "Strategies for the spatial development of the Russian Federation until 2030" (Decree of the Government of the Russian Federation no. 870 of August 20, 2015)]. Available at: http:// карьеры-евразии.рф/ uploadedFiles/files/Kontseptsiya_SPR.pdf (in Russian).

2 Volkova V.N., Loginova A.V, Desyatirikova E. N., Belousov V.E. et al. Simulation modeling of a technological breakthrough in the economy. 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus). 2018. pp. 1293-1297. doi: 10.1109/EIConRus.2018.8317332

3 Lutchenko T.V., Nechaev Yu.B., Shestopalov A.Yu. Model of formation of the development strategy of an enterprise included in the integrated structure of the defense industry complex. *Teoriya i ttekhnika rradiosvyazi* [Theory and technology of radio communication]. 2016. no. 4. pp. 108-114. (in Russian).

4 Klochkova E.S., Alasas B.M., Esedulaev R.R., Tveryakov A.M. et al. Assessment of the quality of higher professional education on the basis of professional and social accreditation. 2017 IEEE VI Forum Strategic Partnership of Universities and Enterprises of Hi-Tech Branches (Science. Education. Innovations) (SPUE). 2017. pp. 137–140. doi: 10.1109/IVForum.2017.8246073

5 Stefan E.V., Nechaev Yu.B. The choice of the direction of development of a subsidiary in modern conditions. *Teoriya i ttekhnika rradiosvyazi* [Theory and technology of radio communication]. 2017. no. 1. pp. 101–103. (in Russian).

6 Desyatirikov A.N., Gasilov V.V., Desyatirikova E.N. Informational approach to the synthesis of the organizational structure of a unique project, *Sistemy Upravleniya i Informacionnye Tekhnologii* [Management Systems and Information Technologies], 2006, T. 23, №1.2(23), p. 237-241. (in Russian).

7 Desyatirikov A.N., Desyatirikova E.N., Sergeeva S.I., Mager V.E. et al. Investment Mechanisms to Improve the Sustainability of the Development of the Region by the Example of the Voronezh Region. 2018 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies". 2018. pp. 832–835.

8 Vilkov V.B., Chernykh A.K., Nefed'yev S.A., Motorygin Y.D. et al. Transportation management of facilities for rescue operations upon disaster mitigation. International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018. vol. 9. no. 1. pp. 676-687.

9 Vinichenko V.A. "The balance of interaction" – about the features of the effectiveness of the functioning of the regions of Russia. *Vestnik NGIEHI* [Herald NGIEI]. 2017. no. 11 (78). pp. 101–110. (in Russian).

10 Rzun I.G., Starkova N.O. Regional Competitiveness Management. *Vestnik NGIEHI* [Herald NGIEI]. 2016. no. 11 (66). pp. 89–99. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Александр Н. Десятириков к.э.н., руководитель, Департамент промышленности Воронежской области, пр-т Революции, 33, г. Воронеж, 394000, Россия, industry@govvrn.ru

Юрий Б. Нечаев д.ф.-м.н., профессор, кафедра информационных систем, Воронежский государственный университет, Университетская пл., 1, г. Воронеж, 394018, Россия, nechaev_ub@mail.ru

Елена Н. Десятирикова д.э.н., профессор, кафедра систем управления и информационных технологий в строительстве, Воронежский государственный технический университет, Московский пр-т, 14, Воронеж, 394000, Россия, science2000@ya.ru

Елена А. Лютова аспирант, АО «Концерн «Созвездие», ул. Плехановская, 14, Воронеж, 394018, Россия

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 12.08.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 28.09.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Aleksandr N. Desyatirikov Cand. Sci. (Econ.), manager, Department of Industry of the Voronezh Region, Revolucii av., 33, Voronezh, Russia, 394000, industry@govvrn.ru

Yuriy B. Nechaev Dr. Sci. (Phys.-Math.), professor, information systems department, Voronezh state university, Universitetskaya sq., 1, Voronezh, 394018, Russia, nechaev_ub@mail.ru

Elena N. Desyatirikova Dr. Sci. (Econ.), professor, control systems and information technologies in civil engineering department, Voronezh state technical university, Moscow av., 14, Voronezh, 394000, Russia, science2000@ya.ru

Elena A. Lyutova graduate student, JSC Polus, Plekhanovskaya str., 14, Voronezh, 394018, Russia

CONTRIBUTION

All authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 8.12.2018

ACCEPTED 9.28.2018

Краткое сообщение/Short message

УДК 338.1

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-384-387

Принципы проектирования и организации функционирования инновационных инфраструктур в условиях Индустрии 4.0

Надежда А. Серебрякова [1] nad.serebryakova@mail.ru
Андрей В. Петриков [1] andreaspetrikov@yandex.ru

[1] Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Количество инновационных центров в общем объеме технологической инфраструктуры в мире увеличивается. Одним из трендов развития глобальной экономики является рост скорости изменений, включая выход на рынок новых видов продукции и услуг. Ключевым триггером этих изменений являются «подрывные» инновации, которые характерны для происходящей в настоящее время четвертой технологической революции. Программа поддержки кластеров, которая реализуется с 2013 года Минэкономразвития России, получает свое логическое продолжение, в том числе в инновационных научно-технологических центрах. В статье проведен обзор безальтернативных глобальных трендов научно-технологического и инновационного развития в условиях Четвертой промышленной революции и Индустрии 4.0, на основе которых сформированы принципы проектирования и организации функционирования инновационных инфраструктур. Проведено исследование лучших в своем классе систем стратегического управления прорывным технологическим развитием. Показано, что в целях реализации прорывного технологического развития необходимо создавать базовые технологические пакеты и технологические пакеты второго порядка на основе базовых исследовательских пакетов. В исследовании применен подход интеллектуально-стратегического сканирования ("Strategic Intelligence"), являющийся значимым инструментом управления, сосредоточенный на решении конкретных вопросов путем сканирования бизнес-среды, выделяя при этом риски, угрозы и возможности. Растущее практическое применение такого подхода обусловлено необходимостью решать уникальные исследовательские задачи в новых предметных областях, по которым отсутствует накопленная база знаний. Ряд методов, первоначально используемых для решения отдельных планово-прогнозных задач, объединяется таким образом в единую целостную концепцию. Результаты исследования могут быть использованы в качестве теоретической основы для проведения трансформации инновационной среды в отраслях, регионах, промышленных комплексах.

Ключевые слова: инновационная инфраструктура, Индустрия 4.0

The principles of design and the organization of functioning of innovative infrastructures in the conditions of the Industry 4.0

Nadezhda S. Serebryakova [1] nad.serebryakova@mail.ru
Andrey V. Petrikov [1] andreaspetrikov@yandex.ru

[1] Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The number of the innovative centers in a total amount of technological infrastructure in the world increases. One of trends of development of global economy is growth of speed of changes, including entry into the market of new types of products and services. The key trigger of these changes are "blasting" innovations which are characteristic of the fourth technological revolution which is taking place now. The program of support of clusters which is implemented since 2013 by the Ministry of Economic Development of the Russian Federation receives the logical continuation, including in the innovative scientific and technological centers. In article the review of uncontested global trends of scientific and technological and innovative development in the conditions of the Fourth industrial revolution and the Industry 4.0 on the basis of which the principles of design and the organization of functioning of innovative infrastructures are created is carried out. The research of the systems of strategic management of breakthrough technological development, best in the class, is conducted. It is shown that for realization of breakthrough technological development it is necessary to create basic technological packages and technological packages of the second order on the basis of basic research packages. In a research the approach of intellectual and strategic scanning ("Strategic Intelligence") which is the significant instrument of management, concentrated on the solution of specific questions by scanning of a business environment is applied, marking out at the same time risks, threats and opportunities. The growing practical application of such approach is caused by need to solve unique research problems in new subject domains on which there is no saved-up knowledge base. A number of the methods which are originally used for the solution of separate planned and expected tasks unites thus in the uniform complete concept. Results of a research can be used as a theoretical basis for carrying out transformation of the innovative environment in the industries, regions, industrial complexes.

Keywords: innovative infrastructure, Industry 4.0

Введение

Новая эпоха промышленной революции предполагает серьезные изменения в нашей жизни. Внедрение новых технологий – безальтернативный вариант развития отрасли агропромышленного комплекса, который позволяет успешнее конкурировать как на российском, так и на международном рынках.

Индустрия 4.0 за последние два десятилетия изменила компании, отрасли, потребительские рынки, создала принципиально новые модели. Темп появления и распространения подрывных технологий только возрастает, поэтому впереди нас с большой вероятностью ждут еще более существенные изменения, которые коснутся и компаний, и государственного управления, и частной жизни. В своей книге о четвертой промышленной революции [1] Клаус Шваб, основатель Всемирного экономического форума, отмечает, что несмотря на все огромные возможности, которые открывает новая технологическая реальность, у нее есть целый набор рисков: компании могут не справиться с необходимым объемом изменений, правительствам будет сложно регулировать и внедрять новые технологии, возникнет целый ряд экономических и социальных дисбалансов. Очевидно, что в корпоративном мире сложность и масштаб преобразований, происходящих во время четвертой промышленной революции, требуют новых инструментов и стратегий.

Для цитирования

Серебрякова Н.А., Петриков А.В. Принципы проектирования и организации функционирования инновационных инфраструктур в условиях Индустрии 4.0 // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 384–387. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-384-387

For citation

Serebryakova N.A., Petrikov A.V. The principles of design and the organization of functioning of innovative infrastructures in the conditions of the Industry 4.0. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 384–387. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-384-387

Современной России пришлось фактически с нуля выстраивать систему поддержки инноваций в условиях рыночной экономики. Базовым элементом новой инфраструктуры, нацеленной на поддержку высокотехнологичных проектов, стала «первая генерация» институтов развития – РОСНАНО, РВК, Сколково, фонд Бортника. Опыт деятельности этих организаций был учтен при создании «второй волны» институтов развития – ФРИИ, АСИ и др. Сегодня перед сформированной государством экосистемой технологического развития поставлена амбициозная задача – резко нарастить долю промышленных предприятий, которые осуществляют инновации [2].

Сегодня арсенал инструментов корпоративных инноваций заметно расширился. Однако эффективное применение данного арсенала требует как внутренних преобразований в корпорациях, так и изменений в их внешних взаимодействиях. Особенно остро ощущается необходимость новых компетенций и подходов к работе, выделения значительных ресурсов на инновационное развитие.

Необходимость осуществления прорывного развития озвучил Президент РФ в своем послании Федеральному собранию от 1 марта 2018 года [3] и закрепил в указе «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» [4]. Стратегическая задача – это прорывное развитие России, обозначил президент. В своем обращении к гражданам, приуроченном к официальному переизбранию [5], 23 марта 2018 года Президент заявил, что нам предстоит совершить мощный технологический рывок. [6].

Обсуждение

30 сентября 2018 года Правительством Российской Федерации утвержден «План модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года», задающий вектор инфраструктурного развития страны. В настоящее время находятся в высокой степени готовности «Стратегия пространственного развития Российской Федерации» и «Долгосрочная программа развития ОАО «РЖД». Развитие инфраструктуры является важнейшим приоритетом государственной политики: она повышает связность регионов и городов, скрепляет и объединяет экономические рынки. Появляющиеся на российском пространстве новые глобальные города станут центрами осуществления прорывного научно-технологического и социально-экономического развития.

Динамичное развитие технологий требует быстрой адаптации современных структур и систем управления бизнесом, компаниями, отраслями на базе новых подходов. Управление современными корпорациями, сотрудниками нового типа, интегрированными организациями, объединяющими различные сферы, регионы и даже страны, становится невозможным или неэффективным с использованием существующих инструментов и методов.

Появление и расширение спектра средств коммуникаций в бизнесе, внедрение элементов искусственного интеллекта, повсеместный приход в бизнес людей новых поколений, кардинально различающихся по своим потребностям, формам работы, отношению к социуму и технологиям, уже сегодня существенно меняют характер взаимоотношений в системе «бизнес – управление – персонал», формируют новые проблемы и одновременно возможности.

Проведем исследование лучших в своем классе систем стратегического управления прорывным технологическим развитием, к которым, по мнению авторов, можно отнести следующие:

1) уровень готовности технологий – методика оценки зрелости отдельных технологий в процессе их разработки и внедрения;

2) кривая Гартнера – методика сравнительного анализа технологий по степени ожидаемых эффектов, потенциала внедрения;

3) магический квадрат – методика сравнительного анализа игроков рынка по визионерской компетенции и производственной возможности.

Все представленные системы управления технологическим развитием сопровождают отдельные вопросы создания технически сложного продукта. В условиях ограниченности внутреннего рынка нет возможности использовать модель неограниченных финансовых ресурсов и избыточной конкуренции. Необходима детерминированная модель определения приоритетов и концентрации ресурсов.

В целях реализации прорывного технологического развития промышленным системам необходимо создавать базовые технологические пакеты и технологические пакеты второго порядка на основе базовых исследовательских пакетов. При этом под технологическим пакетом понимается генетически и функционально связанная совокупность технологий, обладающая системными свойствами.

К базовому исследовательскому пакету по данным Федерального проекта "Наука" относятся математика, физика, фотоника, новые материалы и генетика (прочие направления реализуются через конкурсные механизмы определения научно-образовательных центров). Исследовательский пакет формирует заделы и прорывы, на которые опираются центры компетенций НТИ.

К базовым технологическим пакетам относятся пакеты трех волн [7–9]:

1) пакет первой волны. BD большие данные. Процесс непрерывного производства от сбора

данных и их анализа может только выиграть, big data о состоянии износа оборудования в реальном времени позволяет сократить время простоя при дискретном производстве, и избежать этого простоя при непрерывном цикле;

AI искусственный интеллект. Искусственный интеллект перестал быть далеким будущим, как только АльфаГо обыграла мирового чемпиона в игре Го, которая считалась сугубо уделом человеческой интуиции. Исследования по картированию мозга дают новые данные, на основе которых могут рождаться еще более совершенные решения в области искусственного интеллекта, взаимодействия человека и машины, человека и виртуального пространства. Технологии искусственного интеллекта активно входят в повседневную жизнь. Голосовые помощники, такие, как Amazon Echo или "Яндекс. Станция», беспилотные автомобили, роботы в call-центрах – все это уже не является научной фантастикой, а становится частью нашей жизни. Технологии AI становятся доступны для среднего и малого бизнеса благодаря облачным сервисам и открытым библиотекам, увеличивая скорость появления новых продуктов с AI;

BC распределенные реестры. Прямое peer-to-peer взаимодействие между поставщиком и потребителем, которое открывает технология Блокчейн, сулит нам будущее без посредников. Уже сейчас эффект от подобных взаимодействий проявляется в экономике и заставляет компании задумываться о трансформации бизнеса;

5G беспроводная связь;

2) пакет второй волны. EN мобильные источники энергии;

TN производственные технологии. Новые, в том числе цифровые, технологии индустриального уровня позволяют не только повысить эффективность, устойчивость и безопасность многих отраслей экономики, но и способствуют решению актуальных социальных задач там, где традиционные методы не работают или требуют огромных ресурсозатрат. В поиске таких оптимальных технологических решений заинтересованы и государство в лице институтов развития, и бизнес в лице инвесторов, венчурной индустрии, отраслевых и инфраструктурных компаний как потенциальных заказчиков инноваций, а также общество, потенциальные потребители перспективных технологических решений – все те, кто формирует запрос на создание новых продуктов, способных принести позитивные изменения;

MT новые материалы. Новые материалы могут существенно изменить свойства отдельных компонентов, запасных частей в машиностроении, конструктивных элементов зданий и сооружений. Это создает конкурентные преимущества и бросает вызов всей системе стандартов, так как один новый конструктивный элемент с кардинально новыми свойствами влечет каскад изменений свойств всего объекта – буть то автомобили, здания, отдельные узлы;

SN сенсорика;

3) пакет третьей волны. QT квантовые технологии. Квантовые технологии – это научный термин, который постепенно вошел в повседневный обиход. Это множество разнообразных фундаментальных и прикладных направлений, объединенных одним – возможностью управлять квантовыми состояниями отдельных частиц и, зачастую, извлекать из этого практическую пользу;

PH фотоника;

NE нейротехнологии;

GE генетика и биотехнологии.

За последние годы мир биотехнологий был богат на научные открытия, среди которых стоит отметить успехи в области генетики и клеточной терапии, перспективы редактирования генома, биопечать тканей, персонализированная медицина и искусственный интеллект [10]. Помимо научных успехов, прорыв в увеличении продолжительности жизни является одной из ключевых задач российского здравоохранения. Медицина также не могла остаться в стороне и от цифровизации. Масштабы и темпы развития биотехнологий заставляют государство и бизнес пересмотреть сложившиеся ранее подходы: двигаться в сторону совместных R&D моделей, внедрять новые регуляторные инструменты и бизнес-подходы, разрабатывать решения на стыке технологических трендов, включая клеточные и ИТ-технологии.

Технологические пакеты второго порядка образуются путем различного сочетания технологий пакетов базовых трех волн. К технологическим пакетам второго порядка относятся [7]:

1) цифровые двойники (digital twins): DT = BD + AI. В настоящее время формируется новый сегмент рынка – рынок цифровых двойников. В ближайшей перспективе появится широкий рынок игроков, которые будут предлагать услуги по созданию цифровых двойников изделий, производств и всего, что можно описать цифрой. Нам предстоит путь от устранения неэффективности из всех этапов производства, проектирования и эксплуатации до передачи управления производством искусственному интеллекту. Решение задач предсказательной аналитики станет неотъемлемой частью и свойством цифровых двойников. Это означает переход на новый производственный уклад, что потребует институциональных изменений;

2) микроэлектроника (microelectronics): ET = AI + MT + SN;

3) робототехника (robotics): RT = EN + MT + SN + AI;

4) интернет вещей (Internet of Things): IOT = AI + 5G + EN + MT + SN. В масштабах производственного гиганта внедрение промышленного интернета может привести к миллионам экономии средств. Для предприятий с устаревшей инфраструктурой IoT незаменим в планировании и оптимизации процесса обновления средств производства;

5) виртуальная реальность (total reality): TR = VR + AR = BD + AI + 5G + EN + SN + PH + NE.

Заключение

На разных этапах развития технологий (прикладной зрелости) коммерциализируются поочередно разные пакеты технологий. Решение современных технически нетривиальных задач приводит к созданию большого количества отдельных коммерциализуемых технологий. В этом проявляется эффект циклического развития отраслей и рынков.

Экспоненциальный рост оцифровки данных является основой четвертой промышленной революции. Ключевым фактором успеха становится способность чутко и быстро реагировать на развитие цифровых технологий и их применение в разных сферах жизнедеятельности, проводя необходимые внутренние и внешние изменения. Будущее цифровой трансформации предполагает не только серьезные технологические, но организационные и даже культурные и ментальные изменения.

ЛИТЕРАТУРА

1 Шваб К. Четвертая промышленная революция. 2015.

2 Гончаров А.Ю., Поляков А.В., Сироткина Н.В. Тенденции и перспективы взаимодействия агентов инновационной среды региона в условиях когнитивной экономики // Дельта науки. 2015. № 1. С. 4–17.

3 Послание Президента РФ Федеральному собранию от 01.03.2018.

4 Указ Президента РФ «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».

5 Послание Президента РФ к гражданам, приуроченное к официальному переизбранию от 23.03.2018.

6 Выступление Президента РФ на международном форуме технологического развития «Технопром-2018» от 28.08.2018.

7 Безрукова Т.Л., Лесных Р.А., Сироткина Н.В., Соломахин А.Н. Управление региональной экономикой на основе формирования инвестиционных проектов: :монография. Воронеж, 2006.

8 Сироткина Н.В., Титова М.В. Региональная инновационная политика в фокусе экономики знаний // Регион: системы, экономика, управление. 2015. № 4 (31). С. 63–70.

9 Титова М.В., Гончаров А.Ю., Сироткина Н.В. Региональная инновационная подсистема: оценка и планирование параметров развития // Современная экономика: проблемы и решения. 2015. № 12 (72). С. 172–185.

10 Giordano T. Integrating industrial policies with innovative infrastructure plans to accelerate a sustainability transition // Environmental Innovation and Societal Transitions. 2015. V. 14. P. 186–188.

REFERENCES

1 Shvab K. Chetvertaya promyshlennaya revolyuciya [Fourth industrial revolution]. 2015. (in Russian)

2 Goncharov A.Yu., Polyakov A.V., Sirotkina N.V. Trends and prospects of interaction of agents of the innovation environment of the region in a cognitive economy. *Del'ta nauki* [Delta science]. 2015. no. 1. pp. 4–17. (in Russian).

3 Poslanie Prezidenta RF Federal'nomu sobraniyu ot 01.03.2018 [Message from the President of the Russian Federation to the Federal Assembly of 03.01.2018]. (in Russian).

4 Ukaz Prezidenta RF “O nacional'nyh celyah i strategicheskih zadachah razvitiya Rossijskoj Federacii na period do 2024 goda” [Presidential Decree “On the national goals and strategic objectives of the development of the Russian Federation for the period up to 2024”]. (in Russian).

5 Poslanie Prezidenta RF k grazhdanam, priurochennoe k oficial'nomu pereizbraniyu ot 23.03.2018 [Message from the President of the Russian Federation to citizens, timed to coincide with official re-election dated 03.23.2018]. (in Russian).

6 Vystuplenie Prezidenta RF na mezhdunarodnom forume tekhnologicheskogo razvitiya “Tekhnoprom-2018” ot 28.08.2018 [Speech by the President of the Russian Federation at the Technoprom 2018 international forum for technological development dated 08.28.2018]. (in Russian).

7 Bezrukova T.L., Lesnyh R.A., Sirotkina N.V., Solomahin A.N. Upravlenie regional'noj ehkonomikoj na osnove formirovaniya investicionnyh proektov: [Regional economy management based on the formation of investment projects: : monograph]. Voronezh, 2006. (in Russian).

8 Sirotkina N.V., Titova M.V. Regional innovation policy in the knowledge economy. *Region: sistemy, ehkonomika, upravlenie* [Region: systems, economics, management]. 2015. no. 4 (31). pp. 63–70. (in Russian).

9 Titova M.V., Goncharov A.Yu., Sirotkina N.V. Regional innovation subsystem: assessment and planning of development parameters. *Sovremennaya ehkonomika: problemy i resheniya* [Modern economy: problems and solutions]. 2015. no. 12 (72). pp. 172–185. (in Russian).

10 Giordano T. Integrating industrial policies with innovative infrastructure plans to accelerate a sustainability transition. Environmental Innovation and Societal Transitions. 2015. vol. 14. pp. 186–188.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Надежда А. Серебрякова д.э.н., профессор, кафедра теории экономики и учетной политики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, nad.serebryakova@mail.ru

Андрей В. Петриков соискатель, кафедра теории экономики и учетной политики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, andreaspetrikov@yandex.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Надежда А. Серебрякова консультация в ходе исследования

Андрей В. Петриков написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 06.10.2018
ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 19.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Nadezhda S. Serebryakova Dr. Sci. (Econ.), professor, theory of economics and accounting policy department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, nad.serebryakova@mail.ru

Andrey V. Petrikov applicant, theory of economics and accounting policy department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, andreaspetrikov@yandex.ru

CONTRIBUTION

Nadezhda S. Serebryakova consultation during the study

Andrey V. Petrikov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.6.2018
ACCEPTED 11.19.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 657 (075.8)

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-388-397

Методика учета трехкомпонентного показателя типа финансовой ситуации при анализе структуры капитала предприятий пищевой промышленности

Александр И. Хорев [1] al.khorev@gmail.com
Сергей В. Бухарин [1] svbuharin@mail.ru
Вера Н. Пономарёва [1] vera.ponomareva.2012@mail.ru

[1] Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Среди существующих характеристик финансового состояния предприятия особое место занимает трехкомпонентный показатель типа финансовой ситуации (степень покрытия запасов собственными источниками), который учитывает некоторые статьи баланса, редко используемые при обычной оценке финансового состояния. Поэтому для установления важности данного показателя предлагается перейти от дискретного трехкомпонентного показателя к непрерывному показателю – коэффициенту достаточности покрытия запасов собственными источниками средств и провести корреляционный анализ связи последнего с результатами скорингового анализа тех же предприятий. Чтобы учесть влияние трехкомпонентного показателя на общие результаты оценки финансового состояния, разработана методика учета его влияния на примере показателей структуры капитала, т.е. расширено множество учитываемых финансовых коэффициентов за счет введения дополнительного признака – упомянутого коэффициента достаточности покрытия запасов собственными источниками. Сравнение оценок обобщенного показателя структуры капитала до и после расширения за счет коэффициента достаточности в нечетко-множественной форме позволяет определить рекомендуемые области применения предложенного подхода.

Ключевые слова: финансовое состояние, степень покрытия запасов, обобщенный показатель, метод анализа иерархий, скоринговый анализ, коэффициент корреляции

Accounting technique of the three-component indicator of the financial situation type in the analysis of the food industry enterprises capital structure

Alexander I. Horev [1] al.khorev@gmail.com
Sergey V. Bukharin [1] svbuharin@mail.ru
Vera N. Ponomareva [1] vera.ponomareva.2012@mail.ru

[1] Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Among the existing characteristics of a financial condition of the enterprise a specific place is held by a three-component financial situation indicator (degree of a covering of stocks by own sources) which considers some arti-cles of balance which are seldom used at usual assessment of a financial state. Therefore for establishment of im-portance of this indicator it is offered to pass from a discrete three-component indicator to a continuous indicator – coefficient of sufficiency of a stocks covering with own sources of means and to carry out the correlation analysis of communication of the last with results of the scoring analysis of the same enterprises. To consider influence of a three-component indicator on the general results of assessment of a financial state, the technique of accounting of its influence on the example of indicators of structure of the capital is developed, i.e. the set of the considered financial coefficients due to introduction of additional sign – the mentioned coefficient of sufficiency of a stocks cover-ing is expanded own sources. Comparison of estimates of the generalized indicator of structure of the capital before expansion at the expense of sufficiency coefficient in an indistinct set form allows define the recommended scopes of the offered approach.

Keywords: financial condition, degree of a stocks covering, generalized indicator, hierarchies analysis method, scoring analysis, correlation coefficient

Введение

В настоящее время большое внимание уделяется разработке общих методов оценивания вероятности банкротства [1, 2]. Эти методы предполагают анализ бухгалтерской (финансовой) отчетности, определение финансового состояния предприятия, классификацию (кластеризацию) предприятий по уровню их финансового состояния. Наиболее распространенными подходами к оценке финансового состояния являются следующие: коэффициентный, балльный, рейтинговый.

Для цитирования

Хорев А.И., Бухарин С.В., Пономарёва В.Н. Методика учета трехкомпонентного показателя типа финансовой ситуации при анализе структуры капитала предприятий пищевой промышленности // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 388–397. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-388-397

For citation

Horev A.I., Bukharin S.V., Ponomaryova V.N. Accounting technique of the three-component indicator of the financial situation type in the analysis of the food industry enterprises capital structure. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 388–397. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-388-397

Однако коэффициентный подход характеризуется следующими недостатками: проблема выбора наиболее информативных коэффициентов, их разрозненность, а иногда и разнонаправленность. Кроме того, часть коэффициентов может удовлетворять нормальным ограничениям, а другая часть – не удовлетворять, что приводит к неоднозначности оценки финансового состояния. Поэтому в последнее время наблюдается повышенный интерес к рейтинговым оценкам [3].

Обычно в процессе оценки финансового состояния исследуются следующие характеристики: платежеспособность и ликвидность, степень покрытия запасов собственными источниками, структура капитала, рентабельность, деловая активность, рыночная активность и др. Очевидно, что наиболее существенной характеристикой, определяющей финансовую устойчивость предприятия, по мнению многих авторов (О.Н. Алферина, С.В. Казакова [4] K. Polyakov, M. Polyakova [5] и др.), считается структура капитала.

Среди выделенных характеристик особое место занимает трехкомпонентный показатель типа финансовой ситуации (степень покрытия запасов собственными источниками). В отличие от известных методов оценки финансового состояния (система показателей У. Бивера, скоринговый анализ Д. Дюрана и др.) этот показатель не использует важной информации о рентабельности, коэффициенте текущей ликвидности, коэффициенте финансовой независимости (автономии) и т. д., зато учитывает некоторые статьи баланса, которые отдельно сравнительно редко используются («Запасы», «Краткосрочные кредиты и займы»), поскольку обычно эти статьи учитываются в общей сумме оборотных активов и заемных средств. Поэтому естественно, что оценки трехкомпонентного показателя будут отличаться от оценок двух упомянутых методов, и возникает вопрос о влиянии трехкомпонентного показателя на оценку финансового состояния предприятия в целом, иначе говоря, об его информационной значимости. Вместе с тем на важность его учета указывает ряд авторов: О.И. Косьмина [3] и др. Кроме того, расчет значений трехкомпонентного показателя, в силу своей простоты, может служить в качестве полезной экспресс-оценки финансового состояния.

Поэтому представляется важным решить две задачи: 1) выяснить по группе предприятий пищевой промышленности корреляционную связь оценок трехкомпонентного показателя и оценок одного из известных методов общей оценки финансового состояния; 2) разработать методику учета влияния трехкомпонентного показателя на изменение основных оценок финансового состояния, например, показателей структуры капитала.

Для решения первой задачи предлагается переход от дискретного трехкомпонентного показателя типа $\{1, 1, 1\}$ …, $\{0, 0, 0\}$ к непрерывному показателю – коэффициенту достаточности покрытия запасов собственными источниками средств и корреляционный анализ связи последнего с результатами скорингового анализа тех же предприятий.

Вторая задача значительно сложнее. Для ее решения вместо оценки разрозненных финансовых коэффициентов предложим переход к обобщенному показателю структуры капитала – рейтинговому числу, весовые коэффициенты которого определяются современным методом анализа иерархий. Такой подход устраняет отмеченную выше неоднозначность разрозненных оценок коэффициентного метода. Для учета влияния трехкомпонентного показателя на общие результаты оценки структуры капитала расширим множество учитываемых финансовых коэффициентов (признаков) за счет введения дополнительного признака – упомянутого коэффициента достаточности покрытия запасов собственными источниками. Сравнение оценок обобщенного показателя структуры капитала до и после расширения за счет коэффициента достаточности в нечетко-множественной форме позволяет определить рекомендуемые области применения предложенного подхода.

Методологическую основу исследования представляют современные методы эконометрики, в том числе понятия и методы интеллектуального анализа (data mining): нечетко-множественная функция принадлежности, нечетко-множественная лингвистическая шкала, метод анализа иерархий, теория экспертных систем, ранговые статистики, корреляционный анализ, перспективность которых продемонстрирована рядом авторов [6–8].

Трехкомпонентный показатель типа финансовой ситуации

Интегральным (обобщающим) показателем финансовой устойчивости является излишек или недостаток источников средств для формирования запасов. Для характеристики источников формирования запасов используется несколько разновидностей показателей.

Используем далее определения показателей, приведенные в работе с модификацией формул таким образом, чтобы была подчеркнута тенденция последовательного расширения источников финансирования по сравнению с СОС. В скобках далее приведены коды строк баланса согласно Приказу Минфина РФ от 02.07.2010 № 66н «О формах бухгалтерской отчетности организаций».

1. Обозначим далее общую величину запасов как ЗП:

$$ЗП = (стр.\ 1210). \quad (1)$$

2. Наличие собственных оборотных средств:

СОС = Капитал и резервы – Внеоб. активы, или через коды строк

$$СОС = (стр.\ 1300 – стр.\ 1100). \quad (2)$$

3. Наличие собственных и долгосрочных заемных источников формирования запасов или функционирующий капитал (КФ):

$$КФ = СОС + Долгосрочные\ пассивы, \quad (3)$$

или через коды строк

$$КФ = (стр.\ 1300 – стр.\ 1100 + стр.\ 1400).$$

4. Общая величина основных источников формирования запасов:

$$ВИ = СОС + Долгосрочные\ заемные\ источники + Краткосрочные\ кредиты\ и\ займы), \quad (4)$$

или через коды строк

$$ВИ = (стр.\ 1300 – стр.\ 1100 + стр.\ 1400 + 1510).$$

Приведенным выше показателям источников формирования запасов соответствуют три показателя обеспеченности запасов:

$$Ф_С = СОС – ЗП; \quad (5)$$

$$Ф_{СД} = КФ – ЗП; \quad (6)$$

$$Фсдк = ВИ – ЗП. \quad (7)$$

В некоторых случаях, кроме необходимых статей баланса, используемых для расчета в формулах (1)–(4), могут привлекаться и дополнительные данные. Например: для формулы (1) – «НДС по приобретенным ценностям» (стр. 1220); для формулы (2) – «Доходы будущих периодов» (стр. 1530), «Дебиторская задолженность» (стр. 1230); для формулы (3) – целевое финансирование долгосрочного характера по данным аналитического бухгалтерского учета; для формулы (3) – краткосрочное целевое финансирование по данным аналитического бухгалтерского учета. Однако, как правило, эти дополнительные данные лишь незначительно меняют результаты общей оценки по формулам (1)–(4) и носят характер малых корректирующих поправок.

Трехкомпонентный показатель типа финансовой ситуации основан на определении для показателей (4)–(7) характеристического числа

$$S(Ф) = \begin{cases} 1, & \text{если } Ф \geq 0, \\ 0, & \text{если } Ф < 0 \end{cases}. \quad (8)$$

Как известно, различают 4 типа финансовых ситуаций.

1. Абсолютная независимость финансового состояния представляет собой максимальный уровень финансовой устойчивости, при котором $Ф_С \geq 0$, $Ф_{СД} \geq 0$, $Ф_{СДК} \geq 0$, а трехкомпонентный показатель имеет вид $S(Ф) = \{1, 1, 1\}$.

2. Нормальная независимость финансового состояния, которая гарантирует платежеспособность предприятия: $Ф_С < 0$, $Ф_{СД} \geq 0$, $Ф_{СДК} \geq 0$, а трехкомпонентный показатель имеет вид $S(Ф) = \{0, 1, 1\}$.

3. Неустойчивое финансовое состояние, связанное с нарушением платежеспособности $Ф_С < 0$, $Ф_{СД} < 0$, $Ф_{СДК} \geq 0$, а трехкомпонентный показатель имеет вид $S(Ф) = \{0, 0, 1\}$.

4. Кризисное финансовое состояние, при котором предприятие полностью зависит от заемных источников финансирования, т. е. пополнение запасов возможно лишь за счет задержки погашения кредиторской задолженности: $Ф_С < 0$, $Ф_{СД} < 0$, $Ф_{СДК} < 0$, а трехкомпонентный показатель имеет вид $S(Ф) = \{0, 0, 0\}$.

Рассчитаем далее значения трехкомпонентного показателя для 10 предприятий пищевой промышленности, сокращенные данные балансов которых приведены ниже (таблица 1).

Исходные данные и полученные результаты расчетов типа финансовой ситуации для каждого и предприятий сведем в таблицу, в которой вместо полных названий предприятий для краткости указаны лишь их порядковые номера (таблица 2).

Таблица 1.

Данные статей балансов сравниваемых предприятий за 2016 год, млн р.

Table 1.

Data of balances articles of the compared enterprises for 2016, millions rub

Строки баланса Lines of balance	Хлебозавод № 1	Хлебозавод № 7	Нововоронеж= хлеб	Хлебозавод № 2	Хлебозавод № 5 (Волгоградская обл.)	Хлебная база «Поворино»	Бутурлиновка-хлеб	Новохоперск-хлеб	Лимак	Народное предприятие «Хлеб»
1150	62,74	131,47	2,71	46,09	48,88	72,46	16,89	4,75	1614,9	8,33
1100	74,16	193,45	3,51	47,55	613,39	78,77	16,89	4,93	2107,1	8,56
1210	19,19	25,01	2,58	10,31	50,86	2,02	5,72	1,49	1086,0	5,42
1250	3,27	3,08	0,49	3,42	2,02	3,09	3,46	0,16	368,4	10,48
1200	50,41	64,95	7,12	36,85	205,83	7,35	27,05	2,08	2512,8	23,67
1300	76,04	172,23	5,11	36,75	56,63	31,60	41,69	1,37	3007,5	23,96
1400	31,58	55,59	0,04	12,40	279,68	0,14	–	–	68,23	–
1510	–	–	–	–	48,43	48,0	–	–	1182,6	–
1520	11,95	20,59	4,64	28,77	434,47	4,36	2,09	5,02	305,2	5,57
1600	124,57	258,39	10,63	84,41	819,23	86,12	43,94	7,01	4619,9	32,23

Таблица 2.

Поэтапный расчет трехкомпонентного показателя типа финансовой ситуации, млн р.

Table 2.

Stage-by-stage calculation of a three-component financial situation indicator, one million rub

Номер предприятия Enterprises number	Запасы и источники их формирования Stocks and sources of their formation							3 комп. показатель 3 comp. Indicator	Коэф. достаточности Coefficient Sufficiency
	ЗП	СОС	$Ф_С$	Долг пассивы	$Ф_{СД}$	Кратк пасс.	$Ф_{СДК}$		
1	19,19	1,88	-17,31	31,58	14,27	–	14,27	{0; 1; 1}	1,743
2	25,01	-21,22	-46,23	55,59	9,36	–	9,36	{0; 1; 1}	1,374
3	2,58	1,60	-0,98	0,04	-0,94	–	-0,94	{0; 0; 0}	0,635
4	10,31	-10,80	-21,11	12,4	-8,71	–	-8,71	{0; 0; 0}	0,155
5	50,86	-556,70	-607,62	279,68	-327,90	48,4	-279,51	{0; 0; 0}	-4,495
6	2,02	-47,17	-49,19	0,14	-49,05	48,0	-1,05	{0; 0; 0}	0,480
7	5,72	24,80	19,08	–	19,08	–	19,08	{1; 1; 1}	4,335
8	1,49	-3,56	-5,05	–	-5,05	–	-5,05	{0; 0; 0}	-2,389
9	1085,9	900,43	-185,55	68,23	-117,30	1182,6	1065,26	{0; 0; 1}	1,980
10	5,42	15,40	9,98	–	9,98	–	9,98	{1; 1; 1}	2,841

Сравним полученные значения трехкомпонентного показателя с результатами интегральной оценки финансового состояния тех же предприятий.

Для предстоящего сравнения с трехкомпонентным показателем выберем результаты скорингового анализа по следующей причине. Этот метод наиболее полно отражает принципы современной теории экспертных систем: выбор небольшого числа, но наиболее значимых показателей (рентабельность совокупного капитала, коэффициент текущей ликвидности, коэффициент автономии), нормировка показателей на границы нормальных ограничений, введение «мертвой зоны» и области насыщения для значений показателей.

Для сравнения значений трехкомпонентного показателя (см. таблица 2, графа 9) с результатами общей оценки финансового состояния рассчитаем показатели скорингового анализа для тех же предприятий (см. таблица 1) согласно методике, изложенной в работе [9] (таблица 3). В таблице 3 приняты следующие обозначения: R_4 – рентабельность совокупного капитала; L_4 – коэффициент текущей ликвидности; U_3 – коэффициент автономии; $B_{общ}$ – сумма баллов скоринга.

Таблица 3.

Результаты скоринкового анализа

Table 3.

Scoring analysis results

Предприятия Enterprises number	R_s		L_4		U_3		$B_{общ}$
	%	Балл Score	Число Number	Балл Score	Число Number	Балл Score	Балл Score
1. Хлебозавод № 1	4,760	7,95	4,22	30,00	0,61	17,43	55,38
2. Хлебозавод № 7	13,990	23,36	3,15	30,00	0,66	19,03	72,39
3. Нововоронежхлеб	22,480	37,54	1,53	23,01	0,48	13,74	74,29
4. Хлебозавод № 2	7,285	12,16	1,28	19,20	0,43	12,42	43,78
5. Хлебозавод № 5	13,910	23,23	0,42	0,00	0,07	0,00	23,23
6. Хлебная база «Поворино»	-11,510	0,00	0,14	0,00	0,36	10,48	10,48
7. Бутурлиновкахлеб	9,854	16,45	12,94	30,00	0,94	20,00	66,45
8. Новохоперскхлеб	7,988	13,34	0,41	0,00	0,19	5,71	19,05
9. Лимак	8,489	14,17	1,68	25,33	0,65	18,60	58,10
10. НП «Хлеб»	24,820	41,45	4,24	30,00	0,74	20,00	91,45

Переведем балльные оценки скорингового анализа в десятичные дроби и получим

$$B_S = \begin{pmatrix} 0,553 & 0,723 & 0,793 & 0,493 & 0,232 \\ 0,404 & 0,664 & 0,190 & 0,627 & 0,914 \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Проведем количественное сравнение достаточности покрытия запасов источниками их формирования, введя коэффициент достаточности

$$k_{дост} = \frac{\text{СОС} + \text{Долг. пассивы} + \text{Кратк. кредиты}}{\text{Запасы}},$$

или через коды строк

$$k_{дост} = \frac{\text{с. 1300-с. 1100} + \text{с. 1400} + \text{с. 1510}}{\text{с. 1210}} \quad (10)$$

и рассчитаем его значения для всех десяти предприятий (10 графа таблица 2):

$$k^{10}_{дост} = \begin{pmatrix} 1,743 & 1,374 & 0,635 & 0,155 & -4,495 \\ 0,480 & 4,335 & -2,389 & 1,980 & 2,841 \end{pmatrix} (11)$$

Используем для численного сравнения формул (9) и (11) методы корреляционного анализа. Тогда обычный коэффициент корреляции (Пирсона)

$$k\left(k^{10}_{дост}, B_s\right) = 0,697, \quad (12)$$

что свидетельствует о заметной статистической связи между показателями достаточности собственных источников формирования запасов и результатами скорингового анализа финансового состояния предприятий.

Полученные значения стандартных оценок скорингового анализа и коэффициента достаточности представим графически (рисунок 1).

Заметим, что стандартные оценки получаются из выражений (9) и (11) путем вычитания средних значений (центрирования) и деления на среднеквадратическое отклонение (ранжирования).

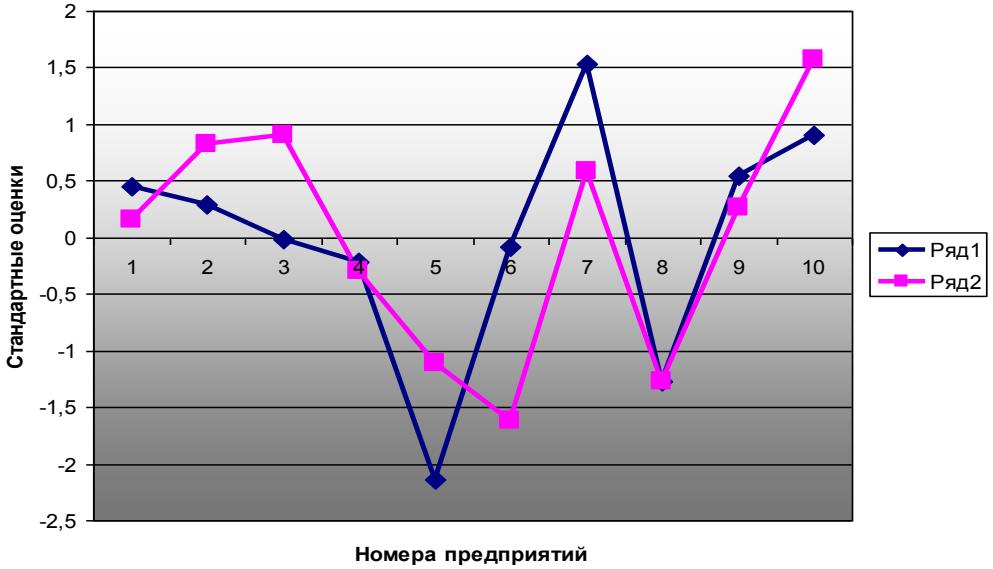


Рисунок 1. Оценки скорингового анализа (ряд 1) и коэффициента достаточности (ряд 2)

Figure 1. Estimates of the scoring analysis (row 1) and sufficiency coefficient (row 2)

Для проверки правильности (12) воспользуемся расчетом коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Как известно, коэффициент ранговой корреляции Спирмена широко используется в экономике для выявления и оценки тесноты связи между двумя рядами сопоставляемых количественных показателей. В том случае если ранги (порядок) показателей, упорядоченных по степени возрастания или убывания, совпадают, делается вывод о наличии прямой корреляционной связи.

Коэффициент Спирмена для *N* предприятий (в нашем случае $N=10$) определяется по следующей формуле:

$$\rho = 1 - \frac{6\sum d^2}{N\left(N^2-1\right)}, \qquad (13)$$

где *d* – разности рангов каждой пары сопоставляемых значений.

При сопоставлении последовательностей значений $k_{\text{дост}}^{10}$ и B_S получим, что коэффициент Спирмена

$$p\left(k_{дост}^{10}, B_s\right) = 0,685\,. \qquad (14)$$

Таким образом, связь между показателями прямая, теснота (сила) связи по шкале Чеддока – заметная. В итоге мы получили немного снизившийся результат, чем при использовании коэффициента корреляции Пирсона.

Итак, использование оценок трехкомпонентного показателя $k_{\text{дост}}$ дает новую информацию и может служить полезным уточняющим дополнением к обычным методам оценки структуры капитала.

Поставим перед собой задачу учета результатов анализа трехкомпонентного показателя при проведении анализа структуры капитала и общей оценки финансового состояния предприятия. Для решения этой задачи воспользуемся методами теории экспертных систем и построим обобщенный (расширенный) показатель структуры капитала в виде рейтингового числа, одной из переменных (признаков) которого будет введенный ранее коэффициент $k_{\text{дост.}}$.

Расширенный показатель структуры капитала

Согласно теории экспертных систем [10] введем обобщенный показатель структуры капитала по формуле

$$J = \sum_{i=1}^{m} V_i \hat{x}_i \Big/ \sum_{i=1}^{m} V_i\,, \qquad (15)$$

где x_i – переменные, называемые признаками (в нашем случае – финансовые коэффициенты структуры капитала U_i); $\hat{x}_i$ – признаки, нормированные делением на границу нормальных ограничений $U_i^{\text{норм}}$; V_i – весовые коэффициенты, характеризующие относительную важность отдельных признаков; m – общее количество учитываемых признаков.

Для учета влияния трехкомпонентного показателя достаточности формирования запасов за счет собственных источников добавим далее в (15) дополнительный признак $k_{\text{дост}}$.

Обычно используемые финансовые коэффициенты U_i и нормальные ограничения $U_i^{\text{норм}}$ имеют следующий вид.

1. Коэффициент капитализации (плечо финансового рычага)

$$U_1 = \frac{\text{Заемный капитал}}{\text{Собственный капитал}} = \\ = \frac{\text{с.1400+с.1500}}{\text{с.1300}}, \quad U_1^{\text{норм}} \le 1,5. \qquad (16)$$

2. Коэффициент обеспеченности собственными источниками

$$U_2 = \frac{\text{СОС}}{\text{Оборотные активы}} = \\ = \frac{\text{с.1300-с.1100}}{\text{с.1200}}, \quad \text{U}_2^{\text{норм}} > 0,1 \div 0,4. \qquad (17)$$

3. Коэффициент автономии (финансовой независимости)

$$U_3 = \frac{\text{Собственный капитал}}{\text{Валюта баланса}} = \\ = \frac{\text{с.1300}}{\text{с.1700}}, \quad \text{U}_3^{\text{норм}} > 0,4. \qquad (18)$$

4. Коэффициент финансирования

$$U_4 = \frac{\text{Собственный капитал}}{\text{Заемный капитал}} = \\ = \frac{\text{с.1300}}{\text{с.1400+с.1500}}, \quad \text{U}_4^{\text{норм}} > 0,7. \qquad (19)$$

5. Коэффициент финансовой устойчивости

$$U_5 = \frac{\text{Собст. капитал+Долг.обязат.}}{\text{Валюта баланса}} = \\ = \frac{\text{с.1300+с.1400}}{\text{с.1700}}, \quad \text{U}_5^{\text{норм}} > 0,6. \qquad (20)$$

6. Кроме перечисленных выше коэффициентов структуры капитала (16) – (20), введем дополнительно коэффициент достаточности $U_6 = k_{\text{дост}}$, учитывающий результаты расчетов трехкомпонентного показателя:

$$U_6 = k_{\text{дост}}, \quad U_6^{\text{норм}} = 1,0. \qquad (21)$$

Рассчитаем финансовые коэффициенты структуры капитала с расширением (21) для рассматриваемых десяти предприятий (таблица 4).

Таблица 4.

Финансовые коэффициенты структуры капитала с расширением

Table 4.

Financial ratios of capital structure with expansion

Предприятие Enterprise	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6
1	0,037	0,610	1,567	0,863	1,000
2	-0,326	0,666	1,998	0,881	1,000
3	0,224	0,481	0,924	0,484	0,635
4	-0,293	0,435	0,771	0,582	0,155
5	-2,704	0,069	0,074	0,410	-1,000
6	-6,417	0,366	0,579	0,368	0,480
7	0,916	0,948	18,528	0,948	1,000
8	-1,711	0,195	0,195	0,195	-1,000
9	0,358	0,651	1,865	0,665	1,000
10	0,651	0,743	2,897	0,743	1,000

Перейдем к расчету нормированных признаков $\hat{x}_i$, используемых в формуле (15), для обобщенного показателя структуры капитала. С целью исключения дублирования коэффициент капитализации U_1 в расчетах использоваться не будет, поскольку он является просто обратной величиной коэффициента финансирования U_4. Поэтому нам нужно ввести только четыре признака $x_1 - x_4$:

$$x_1 = U_2,\ x_2 = U_3, x_3 = U_4, x_4 = U_5 \qquad (22)$$

и дополнить их пятым признаком достаточности

$$x_5 = U_6, \qquad (23)$$

учитывающим влияние оценок трехкомпонентного показателя.

Произведем нормировку признаков x_i, $i = 1,2,...,4$ делением на соответствующие границы нормальных ограничений. Учитывая зарубежный опыт (систему показателей У. Бивера и скоринговый анализ Д. Дюрана), мы выбрали при расчетах для финансового коэффициента U_2 границу нормального ограничения $U_2^{\text{норм}} = 0,4$:

$$\hat{x}_1 = U_2 / U_2^{\text{норм}} = U_2 / 0,4; \qquad (24)$$

$$\hat{x}_2 = U_3 / U_3^{\text{норм}} = U_3 / 0,4;$$

$$\hat{x}_3 = U_4 / U_4^{\text{норм}} = U_4 / 0,7; \qquad (25)$$

$$\hat{x}_4 = U_5 / U_5^{\text{норм}} = U_5 / 0,6.$$

Что касается пятого признака достаточности финансирования запасов $\hat{x}_5$, здесь потребуется совсем иная нормировка, поскольку при использовании обобщенного показателя (15) предполагается, что все нормированные признаки $\hat{x}_i$ принимают значения из области [0, 1], а согласно формуле (11) коэффициент $k_{\text{дост}}$ может принимать и отрицательные значения.

Поэтому для нормировки пятого признака $\hat{x}_5$ осуществим две операции:

1) масштабирование (*scaling*) его значений по формуле

$$z = 0,5(x_5+1), \qquad (26)$$

преобразующее исходную область значений [-1,1] в область [0, 1]; 2) воспользуемся современным понятием теории экспертных систем – нечетко множественной функцией принадлежности $\mu(z)$ (рисунок 2).

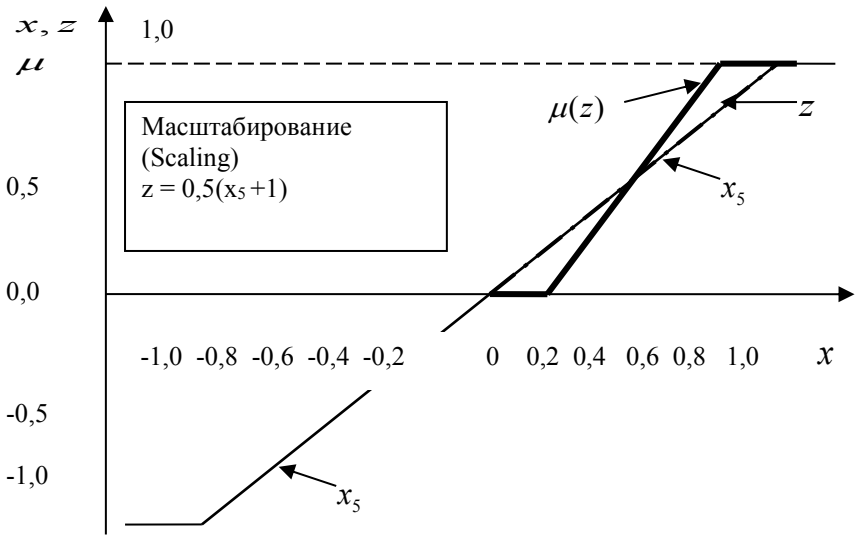


Рисунок 2. Признак достаточности x_5, масштабированная переменная z, функция принадлежности достаточности финансирования запасов $\mu(z)$

Figure 2. Sign of sufficiency x_5, the scaled variable z, function of accessory of sufficiency of financing of stocks $\mu(z)$

На рисунке 2 тонкая линия соответствует значениям коэффициента достаточности $k_{\text{дост}}$ с ограничениями $\pm 1,0$, штрих-пунктирная прямая – новой переменной z, $z \in [0,1]$ после масштабирования, а жирная изломанная линия – функции принадлежности $\mu(z)$.

Введение последней функции обусловлено успешной практикой применения известных зарубежных методов анализа финансового состояния (система коэффициентов У. Бивера и скоринговый анализ Д. Дюрана). В упомянутых методах для значений показателей вводятся три области: «мертвая зона», область нормальных (промежуточных) значений и область насыщения. Эта ситуация хорошо моделируется нечетко-множественной функцией принадлежности $\mu(z)$, которую предложим в виде

$$\mu(z) = \begin{cases} 0, & z < 0,2; \\ \dfrac{z - 0,2}{0,8 - 0,2}, & z \in [0,2,\ 0,8); \\ 1, & z > 0,8). \end{cases} \qquad (27)$$

Для рассматриваемых предприятий рассчитанные значения нормированных в соответствии с формулами (24)–(27) признаков сведены в таблицу 5.

Таблица 5.

Нормированные признаки расширенной структуры капитала

Table 5.

Rated signs of expanded structure of the capital

Предприятие Enterprises	Нормированные признаки | Rated signs				
	$\hat{x}_1$	$\hat{x}_2$	$\hat{x}_3$	$\hat{x}_4$	$\hat{x}_5$
1	0,093	1,526	2,238	1,439	1,000
2	-0,816	1,666	2,855	1,469	1,000
3	0,561	1,201	1,320	0,807	0,817
4	-0,732	1,088	1,101	0,970	0,577
5	-6,762	0,172	0,106	0,684	0,000
6	-16,044	0,917	0,828	0,614	0,740
7	2,292	2,371	26,469	1,581	1,000
8	-4,278	0,488	0,279	0,325	0,000
9	0,895	1,627	2,664	1,109	1,000
10	1,626	1,858	4,138	1,239	1,000

Следующим этапом является определение весовых коэффициентов V_i в формуле обобщенного показателя структуры капитала (15), совокупность которых образует *вектор приоритетов* V. Наиболее обоснованным научным подходом к решению этой задачи является использование метода анализа иерархий (МАИ) Т. Саати [8]. При этом используется нечетко-множественная лингвистическая шкала предпочтений признаков, определяются их ранги, строится *матрица парных сравнений* W, находятся для нее собственные числа и векторы.

Используя методику, изложенную в работах [9, 10] для применения метода анализа иерархий, определим вектор приоритетов весовых коэффициентов V_i:

$$V = (0,240 \quad 0,426 \quad 0,146 \quad 0,747 \quad 0,426)^T. \qquad (28)$$

Подставив в формулу (15) для обобщенного показателя структуры капитала значения нормированных признаков (см. таблица 5), учитывая формулу (28), получим для рассматриваемых предприятий значения обобщенного показателя качества структуры капитала:

$$J_{\text{расш}} = (1,324 \ \ 1,289 \ \ 0,926 \ \ 0,743 \ \ -0,705 \ \ -1,949 \ \ 4,286 \ \ -0,371 \ \ 1,367 \ \ 1,749) \qquad (29)$$

Эти значения рассчитывались с учетом пятого признака $\hat{x}_5$, отражающего влияние трехкомпонентного показателя типа финансовой ситуации. Для того чтобы количественно оценить степень этого влияния, рассчитаем значения обобщенного показателя J по исходным четырем признакам $\hat{x}_1 - \hat{x}_4$. Вектор приоритетов весовых коэффициентов V_i в этом случае равен

$$V = (0,279 \quad 0,483 \quad 0,166 \quad 0,814)^T. \qquad (30)$$

Подставив в формулу (15) для обобщенного показателя структуры капитала значения первых четырех нормированных признаков $\hat{x}_i$ (см. таблица 5) и учитывая формулу (30), получим для значения обобщенного показателя качества структуры капитала:

$$J = (1,259 \ \ 1,236 \ \ 0,902 \ \ 0,715 \ \ -0,515 \ \ -1,292 \ \ 3,542 \ \ -0,269 \ \ 1,285 \ \ 1,581). \qquad (31)$$

Сравним графически результаты расчетов (31) и (29) обобщенного показателя исходной структуры капитала J (без учета трехфакторного показателя типа финансовой ситуации) и с расширенным показателем $J_{\text{расш}}$ (с учетом трехфакторного показателя) (рисунок 3).

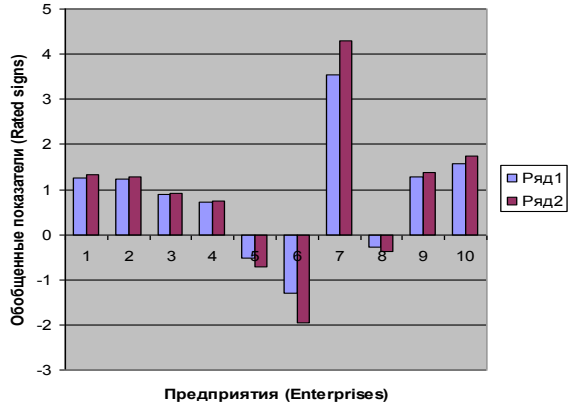


Рисунок 3. Обобщенные показатели структуры капитала J (ряд 1) и $J_{\text{расш}}$ (ряд 2)

Figure 3. The generalized indicators of the capital structure J (row 1), $J_{\text{расш}}$ (row 2)

Как видим, в тех случаях, когда оценки трехкомпонентного показателя типа финансового состояния положительны ($k_{\text{дост}} > 0$), соответствующие оценки обобщенного показателя структуры капитала несколько возрастают (предприятия 1–4, 7, 9, 10). Гораздо большее значение для практики имеют случаи неблагополучных предприятий, когда решается вопрос о вероятности банкротства, т. е. для которых оценки трехкомпонентного показателя низки ($k_{\text{дост}} < 0$). В этих случаях влияние трехкомпонентного показателя на обобщенный показатель J различно: для наиболее слабых предприятий 5, 6, 8 переход к расширенному показателю $J_{\text{расш}}$ сопровождается значительным уменьшением последнего показателя. Так, для 5-го предприятия — с величины –0,515 до –0,705, для 6-го предприятия — с величины –1,292 до величины –1,949, а для 8-го предприятия — с величины –0,269 до –0,371.

Для общей оценки изменений обобщенного показателя структуры капитала всех рассматриваемых предприятий J при учете трехкомпонентного показателя вычислим среднеквадратичное отклонение выборок (29) и (31) для нормированного отклонения $\delta J_{\text{норм}}$ с элементами

$$\delta J_{\text{норм, i}} = \frac{\left(J_i - J_{\text{расш, i}}\right)}{J_i}, \quad i = 1, 2, \ldots \qquad (32)$$

расширенного показателя с помощью процедуры *stdev* программы Mathcad:

$$\sigma_J = stdev(\delta J_{\text{норм}}) = 0{,}112 . \qquad (33)$$

Как видим, поправка может быть достаточно существенной, и для неблагополучных с точки зрения структуры капитала предприятий ее целесообразно учитывать.

Таким образом, введение в состав признаков структуры капитала дополнительного признака $\hat{x}_5$, учитывающего значения трехкомпонентного показателя типа финансовой ситуации, позволяет эффективно оценивать влияние этого показателя.

Заключение

1. С точки зрения общей оценки финансового состояния предприятия информационная значимость трехкомпонентного метода оценки типа финансового состояния для предприятий данной отрасли оказалась значительна. Корреляционная связь результатов скорингового анализа B_S 10 рассмотренных предприятий и коэффициента достаточности $k_{\text{дост}}$ покрытия запасов весьма заметна: коэффициент корреляции $k = 0{,}697$, а коэффициент ранговой корреляции Спирмена $\rho = 0{,}685$. Итак, трехкомпонентный показатель может служить источником корректирующей, уточняющей информации, и учет его может быть полезен.

2. Для такого учета введен обобщенный показатель структуры капитала предприятия J, представляющий собой рейтинговое число, образованное из нормированных коэффициентов (признаков) $\hat{x}_i$, $i = 1,\ldots,4$ структуры капитала с использованием метода анализа иерархий. В отличие от обычной оценки разрозненных финансовых коэффициентов введенный показатель J дает однозначную оценку качества структуры капитала, а для учета результатов трехкомпонентного показателя множество учитываемых признаков расширяется за счет введения признака достаточности покрытия запасов $k_{\text{дост}}$.

3. Введенный расширенный показатель $J_{\text{расш}}$ позволяет эффективно учитывать влияние результатов трехкомпонентного показателя типа финансовой ситуации на общую оценку структуры капитала. Как следует из результатов численного анализа, в особенности сильно это проявляется в случае неблагополучных предприятий (для 5-го предприятия значение J снизилось с величины –0,515 до –0,705, для 6-го предприятия – с величины -1,292 до величины –1,949, для 8-го предприятия – с величины –0,269 до –0,371). В целом по группе сравниваемых предприятий среднеквадратическое отклонение нормированных показателей $J_{\text{расш}}$ от J составило 0,112. Поэтому использование результатов трехкомпонентного показателя типа финансовой ситуации вполне оправдано.

ЛИТЕРАТУРА

1 Бердников В.В., Гавель О.Ю. Сравнительный анализ подходов прогнозирования вероятности банкротства коммерческих организаций // Наука и Мир. 2014. № 8. С. 92–96.

2 Bordeianu G.D. et al. Analysis Models of the Bankruptcy Risk // Economy Transdisciplinarity Cognition. 2011. V. 14. № 1. P. 248–259.

3 Косьмина О.И. Сравнительная характеристика различных методик диагностики финансового состояния предприятий // Сборник научных трудов СевКавГТУ. Серия: Экономика. 2010. № 10. С. 21–28.

4 Алферина О.Н., Казакова С.В. Анализ структуры капитала и повышение финансовой устойчивости предприятия // Инновационная наука. 2015. № 6. С. 4–11.

5 Polyakov K., Polyakova M. The role of financial factors interactions in the capital structure determination // Journal of corporate finance research. 2015. № 4 (36). P.17–25.

6 Witten I.H., Frank E., Hall M.A. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques. Burlington, Massachusetts: Morgan Kaufmann, 2011. 664 p.

7 Chambers. J.M. Software for Data Analysis. Stanford: Stanford University, 2008. 514 p. doi: 10.1007/978–0–387–75936–4.

8 Saaty T.L. Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process // RACSAM – Journal of the Royal Academy of Exact, Physical and Natural Sciences. Series A. Mathematics. 2008. V. 102. № 2. P. 251–318. doi: 10.1007/BF03191825

9 Хорев А.И., Бухарин С.В., Баркалова И.И. Обобщенный показатель и классификация структуры капитала промышленных предприятий // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 3(73). С. 187–193.

10 Бухарин С.В., Мельников А.В. Кластерно-иерархические методы экспертизы экономических объектов. Воронеж: Научная книга, 2012. 276 с.

11 Бармин М.А. Вероятностная модель связи конкурентоспособности предприятия с параметрами интеллектуального капитала // Вестник НГИЭИ. 2016. № 9 (64). С. 155-161.

12 Игошин А.Н., Черемухин А.Д. Особенности воспроизводства человеческого капитала в контексте оценки эффективности работы организации // Вестник НГИЭИ. 2017. № 5 (72). С. 96-113.

REFERENCES

1 Berdnikov V.V., Gavel O.Yu. Comparative analysis of approaches of forecasting of probability of bankruptcy of the commercial organizations. *Nauka i Mir* [Science and World]. 2014. no. 8. pp. 92–96. (in Russian).

2 Bordeianu G.D. et al. Analysis Models of the Bankruptcy Risk. Economy Transdiscipli-narity Cognition. 2011. vol. 14. no. 1. pp. 248–259.

3 Kosmina O.I. Comparative characteristic of various techniques of diagnostics of a financial condition of the enterprises. *Sbornik nauchnyh trudov SevKavGTU. Seriya: Ehkonomika* [Collection of scientific works of the North Caucasus State Technical University. Series: Economy]. 2010. no. 10. pp. 21–28. (in Russian).

4 Alferina O.N., Kazakov S.V. Analysis of structure of the capital and increase in financial stability of the enterprise. *Innovacionnaya nauka* [Innovative science]. 2015. no. 6. pp. 4–11. (in Russian).

5 Polyakov K., Polyakova M. The role of financial factors interactions in the capital structure determination. Journal of corporate finance research. 2015. no. 4 (36). pp. 17–25.

6 Witten I.H., Frank E., Hall M.A. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques. Burlington, Massachusetts, Morgan Kaufmann, 2011. 664 p.

7 Chambers. J.M. Software for Data Analysis. Stanford, Stanford University, 2008. 514 p. doi: 10.1007/978–0–387–75936–4.

8 Saaty T.L. Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process. RACSAM – Journal of the Royal Academy of Exact, Physical and Natural Sciences. Series A. Mathematics. 2008. vol. 102. no. 2. pp. 251–318. doi: 10.1007/BF03191825

9 Horev A.I., Bukharin S.V., Barkalova I.I. The generalized indicator and classification of structure of the capital of the industrial enterprises. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2017. vol.79. no. 3 (73). pp. 187–193. (in Russian).

10 Bukharin S.V., Melnikov A.V. Cluster and hierarchical methods of examination of economic objects. Voronezh, Nauchnaya kniga, 2012. 276 p. (in Russian).

11 Barmin M.A. Probabilistic model of communication of enterprise competitiveness with the parameters of intellectual capital. *Vestnik NGIEHI* [Herald NGIEI]. 2016. no. 9 (64). pp. 155-161. (in Russian).

12 Igoshin A.N., Cheremuhin A.D. Features of the reproduction of human capital in the context of assessing the effectiveness of the organization. *Vestnik NGIEHI* [Herald NGIEI]. 2017. no. 5 (72). pp. 96-113. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Александр И. Хорев д.э.н., профессор, кафедра экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, al.khorev@gmail.com

Сергей В. Бухарин д.т.н., профессор, кафедра экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, svbuharin@mail.ru

Вера Н. Пономарёва студент, кафедра экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vera.ponomareva.2012@mail.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Alexander I. Horev Dr. Sci. (Econ.), professor, economic security and financial monitoring department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, al.khorev@gmail.com

Sergey V. Bukharin Dr. Sci. (Engin.), professor, economic security and financial monitoring department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, svbuharin@mail.ru

Vera N. Ponomareva student, economic security and financial monitoring department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vera.ponomareva.2012@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

CONTRIBUTION

All authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

ПОСТУПИЛА 11.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 16.10.2018

RECEIVED 9.11.2018

ACCEPTED 10.16.2018

Краткое сообщение/Short message

УДК 338

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-398-402

Стратегии импортозамещения в мировой экономике: уроки для России

Алишер Ш. Субхонбердиев [1] alisher-man@mail.ru
Алексей Н. Шевченко [2]

[1] Воронежский государственный лесотехнический университет, ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия
[2] «Агентство по инвестициям и стратегическим проектам» правительства Воронежской области, ул. Свободы, 14, Воронеж, 394018, Россия

Аннотация. Исследуется мировой опыт реализации импортозамещающей стратегии; раскрывается суть основных моделей; выявляются те аспекты, которые окажутся полезными в современных российских условиях. Развитие импортозамещающих производств по внутриориентированной стратегии осуществляется с целью освоения исключительно внутреннего рынка страны. С точки зрения национальной экономики, данная стратегия ведет к консервации отставания, прежде всего, в сфере технологического и научно-технического сотрудничества и препятствует появлению в хозяйстве отраслей-локомотивов, способных обеспечить мировой уровень прогресса. Использование обозначенной модели импортозамещения стало направленностью тенденцией развития так называемых новых индустриальных стран Латинской Америки. Другим вариантом реализации импортозамещающей политики может служить стратегия внешнеориентированного импортозамещения, характерной чертой которой является достижение структурных сдвигов в экономике посредством замещения импортных комплектующих и деталей в экспортных изделиях. Реализация импортозамещающей политики, согласно данной модели, предполагает развитие производства национальных товаров на достаточно емком внутреннем рынке с последующим продвижением их на мировой рынок.

Ключевые слова: импорт, импортозамещение, модель, стратегия, внутриориентированное импортозамещение, внешнеориентированное импортозамещение, смешанное импортозамещение

Import substitution strategies in the global economy: lessons for Russia

Alisher Sh. Subhonberdiev [1] alisher-man@mail.ru
Alexey N. Shevchenko [2]

[1] Voronezh state forest engineering University, Timiryazeva str., 8, Voronezh, 394087, Russia
[2] Investment and strategic projects Agency of the Voronezh region government, Svobody str., 14, Voronezh, 394018, Russia

Abstract. The world experience of implementation of import substitution strategy is being studied; reveals the essence of the main models; Identify those aspects that will prove useful in modern Russian conditions. The development of import-substituting industries according to the intra-oriented strategy is carried out in order to develop exclusively the domestic market of the country. From the point of view of the national economy, this strategy leads to the preservation of the backlog, primarily in the field of technological and scientific-technical cooperation and prevents the emergence of industries in the economy-locomotives that can ensure the world level of progress. The use of this model of import substitution has become a determining trend in the development of the so-called new industrial countries (NIS).The intra-oriented strategy of import substitution plays a stimulating role in creating a diversified national economy, expanding the production of important goods on its own. The conceptual basis for the implementation of this strategy was the theory of the peripheral economy, developed by a group of Latin American scientists headed by the Executive Secretary of the UN Economic Commission. According to this concept, the demand for products. The use of the designated model of import substitution has become a trend of development of the so-called new industrial countries of Latin America. Another option for the implementation of import substitution policy can be a strategy of foreign-oriented import substitution, which is characterized by the achievement of structural changes in the economy through the replacement of imported components and parts in export products. Implementation of import-substituting policy, according to this model, involves the development of production of national goods on a sufficiently large domestic market, followed by their promotion on the world market.

Keywords: import, import substitution, model, strategy, intraoriented import substitution, foreign-oriented import substitution, mixed import substitution

Политику импортозамещения реализовывали многие страны мира в разные периоды своего развития. США и страны Западной Европы прибегали к данной стратегии в 50–60-х гг. XIX в., Япония – в 1867–1912 гг. Менее успешным можно считать опыт Латинской Америки.

Возможны различные варианты реализации политики импортозамещения. Выделим три модели: внутриориентированное, внешнеориентированное и смешанное импортозамещение.

Развитие импортозамещающего производства по внутриориентированной стратегии осуществляется с целью освоения исключительно внутреннего рынка страны. С точки зрения национальной экономики данная стратегия ведет к консервации отставания, прежде всего,

Для цитирования
Субхонбердиев А.Ш., Шевченко А.Н. Стратегии импортозамещения в мировой экономике: уроки для России // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 398–402. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-398-402

For citation
Subhonberdiev A.Sh., Shevchenko A.N. Import substitution strategies in the global economy: lessons for Russia. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 398–402. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-398-402

в сфере технологического и научно-технического сотрудничества и препятствует появлению в хозяйстве отраслей-локомотивов, способных обеспечить мировой уровень прогресса.

Использование обозначенной модели импортозамещения стало тенденцией развития так называемых новых индустриальных стран (НИС) Латинской Америки. К таким странам относят Бразилию, Аргентину, Мексику, Чили, Парагвай, Уругвай.

Внутриориентированная стратегия импортозамещения сыграла стимулирующую роль в разработке диверсифицированной государственной экономики, расширении производства важнейших товаров собственными силами. В целях защиты своей экономики от экспансии со стороны Северной Америки в 50–60-е гг. XX в. страны Латинской Америки предприняли ряд мер по снижению цен на продукцию отечественного производства, а удержанные таким образом внутри государства средства направили на модернизацию промышленности.

Концептуальной почвой для реализации предоставленной стратегии послужила доктрина периферийной экономики, созданная группой латиноамериканских научных работников во главе с исполнительным секретарем Финансовой комиссии ООН для Латинской Америки аргентинским экономистом Р. Пребишем. Сообразно предоставленной концепции спрос на продукты развивающихся государств (сырье и продовольствие) имеет невысокую гибкость по доходу в отличие от высокоэластичного спроса на промышленные продукты развитых государств. В длительной перспективе развивающиеся государства неизбежно столкнутся со смещением в худшую сторону критерия обмена.

Выдвинутые данной теорией идеи преодоления экономической отсталости развивающихся стран связаны с проведением импортозамещающей индустриализации и переориентацией развития с внешних рынков на внутренние, что позволяет придать динамику экономическому росту, повысить уровень занятости и жизни в странах региона.

Концепция Р. Пребиша отводит значимую роль государству, а также проведению аграрных, финансовых и институциональных реформ, направленных на ликвидацию социально-экономической отсталости государств.

Стратегия импортозамещения в латиноамериканских странах реализовывалась в две фазы. В ходе первой фазы усилия направлялись преимущественно на стимулирование внутреннего производства потребительских товаров. На второй фазе велась поддержка выпуска товаров производственного назначения, прежде всего оборудования. К примеру, в Мексике на протяжении 1940–1954 гг. проводилась ускоренная замена импортных товаров краткосрочного пользования посредством активной протекционистской политики с предоставлением налоговых льгот вновь создаваемым предприятиям (до 40% от налога на доходы корпорации), вводом высоких таможенных барьеров для импорта конечных потребительских товаров и освобождением от таможенных пошлин ввозимого сырья, машин и оборудования для новых предприятий обрабатывающей промышленности.

Следующей стадией импортозамещения в 1954–1970 гг. стала замена русской продукцией промежуточных товаров производственного назначения, средств изготовления и товаров длительного использования, как правило, за счет взлета собственных инвестиций и государственной поддержки.

По аналогичной модели осуществлялась стратегия импортозамещения в Бразилии. Первая фаза началась в 40-е гг. XX в. с замещения импорта одежды, обуви, продуктов питания. Новым этапом в 1956–1961 гг. стало ускорение развития отраслей, выпускающих средства производства и бытовые товары. Для наращивания спроса на товары долговременного пользования правительство Бразилии предприняло меры по формированию системы дешевого потребительского кредитования. Эти меры позволили достичь на протяжении указанного периода 10% среднегодовых темпов экономического роста, а в отдельных отраслях (производство автомашин и бытовых приборов) – 22%. Норма инвестиций в бразильской экономике увеличилась с 17,6 в 1967 г. до 24,5% валового внутреннего продукта (ВВП) в 1972 г.

Впрочем использование внутриориентированной стратегии импортозамещения сопровождалось и негативными результатами для экономики. Взлет городских расходов на становление индустрии и совершенствование инфраструктурного обеспечения (электроэнергетики, автодорог, автотранспорта и связи) привел к наращиванию инфляции и зависимости от поступления зарубежных денежных средств. Недоступность конкуренции лишала молодую промышленность стимулов к технологическим и организационным инновациям, падающая капиталоотдача сдерживала скопления. В одно и то же время обострились и наружные трудности: низкий подъем экспорта содействовал наращиванию недостатка платежного баланса, необходимости в новых кредитах. Затянувшийся индустриальный протекционизм обернулся дискриминацией сельского хозяйства.

Другим вариантом реализации импортозамещающей политики может служить стратегия внешнеориентированного импортозамещения, характерной чертой которой является достижение структурных сдвигов в экономике посредством замещения импортных комплектующих и деталей в экспортных изделиях. Реализация импортозамещающей политики, согласно данной модели, предполагает развитие производства национальных товаров на достаточно емком внутреннем рынке с последующим продвижением их на мировой рынок. Согласно теории Хекшера–Олина неравное распределение факторов производства отражается в структуре торговли, каждая страна экспортирует только те товары и услуги, на производство которых она расходует факторы, находящиеся в данной стране в относительном изобилии.

Задача действенной реализации стратегии внешнеориентированного импортозамещения – выявление резервов государственной экономики для формирования моментов, оказывающих помощь до этого малоразвитым многообещающим отраслям. Подобный механизм поддержки не только позволяет заменить аналогичную продукцию на национальном рынке, но и способствует расширению этих отраслей до масштабов формирования возможности экспорта избыточных факторов за рубеж.

Страны Западной Европы и США впервые воспользовались данной стратегией в 1850 г. для поддержки собственной промышленности. Таким образом, начало использования стратегии было заложено еще в середине XIX в., однако наибольшее развитие внешнеориентированное импортозамещение получило в середине XX в. в развивающихся странах, прежде всего, в НИС Азии (Тайвань, Южная Корея, Малайзия, Таиланд, Филиппины). При этом государства Восточной Азии демонстрировали тенденцию более быстрого экономического роста по сравнению с промышленно развитыми странами в полном соответствии с предсказаниями теории конвергенции. Так, начиная с 1960 г. рекордные темпы наращивания ВВП позволили Южной Корее в 1997 г. войти в группу развивающихся стран с высоким доходом. Предпосылкой успеха азиатского государства стала благоразумная налоговая политика, высокий уровень сбережений, стимулирование развития образования, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также поддержание развития сельского хозяйства.

НИС Азии при реформировании промышленного производства придавали особое значение освоению научных технико-емких отраслей (автомобилестроение, бытовая электроника, промышленность полупроводников), содействию выпуску соответствующей промышленной продукции с последующим ее экспортом на мировые рынки. Стратегия “догоняющего развития” в азиатских НИС была выражена в реализации так называемой доктрины “стаи летящих гусей”, сформулированной японским экономистом Канаме Акамацу в начале 1930-х гг. Согласно этой доктрине страны постепенно движутся к технологическому развитию, следуя примеру государств, находящихся непосредственно перед ними в процессе развития.

Позже японские экономисты Коджима и Озава добавили в данную теорию фактор прямых иностранных инвестиций и продемонстрировали, как технологическая и финансовая помощь транснациональных компаний может ускорять экономический прогресс в развивающихся странах. Примером благоприятного воздействия иностранных инвестиций является опыт импортозамещающей политики Китая. Основой экономического роста Китая с начала 90-х гг. XX в. стало повышение роли трансферта технологий как стимула для инновационного развития страны: проведена деколлективизация сельского хозяйства, созданы юридические формы для ведения личного бизнеса, на муниципальном уровне принято направление на помощь научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам и на инновационное становление. Осуществление качественных преобразований в экономике Китая на фоне присутствия просторного внутреннего рынка разрешило в короткие сроки добиться оптимизации производственной структуры, увеличить конкурентоспособность государства. Вербование зарубежных вложений целесообразно осуществлять в разумных пределах в качестве инструмента повышения конкурентоспособности национальных товаропроизводителей.

Общую эффективность проведения импортозамещения в азиатских странах подчеркивают темпы денежного развития, опережающие латиноамериканские государства. В то время как государства Азии массивно увеличивали благосостояние населения, НИС Латинской Америки оставались на уровне 1973 г. по показателю дохода на душу населения на протяжении последних тридцати лет.

Политика импортозамещения разрешила латиноамериканским НИС создать индустриальный потенциал и разные отрасли: ВВП Бразилии только несколько меньше, чем совместный ВВП НИС Восточной Азии.

Наличие положительных итогов применения как внутриориентированной, так и внешнеориентированной модели обосновывает самодостаточность всякой из обозначенных

стратегий и ее выдающиеся качества в стимулировании становления отдельных секторов экономики государства. Составляющие обеих стратегий импортозамещения во всевозможных пропорциональных соотношениях соединяет в себе стратегия смешанного импортозамещения.

Приоритетные направления для последующего освоения наружных рынков определяются в зависимости от располагаемых экономикой ресурсов. В одно и то же время проводится становление наименее ресурсоемкого производства для импортозамещения на внутреннем рынке. Государства, реализующие эту стратегию, воплотят в жизнь импортозамещение комбинированно по внутреннему и внешнему направлениям с делением по разным товарным группам или же высококачественным свойствам продуктов одной товарной группы.

Примером реализации смешанной модели импортозамещения считается экономика Индии. В жесткой конкуренции с английскими продуктами правительство предприняло ряд мер по развитию импортозамещающего производства. Были мобилизованы ресурсы для создания главных секторов экономики, совершенствования экономической инфраструктуры и, как следствие, формирования среды для закрепления личного предпринимательства. По потребительским товарам доля импорта к середине 60-х гг. XX в. не превосходила 4%, по товарам промежуточного спроса – 8% и машинно-технической продукции – 21%. Итогом целенаправленной политики по расширению базы национальной промышленности в Индии стало достижение существенных результатов в развитии фармацевтической отрасли, так называемое “фармацевтическое чудо”. Объем экспорта из страны более чем в 4 раза превышает масштабы закупок фармацевтической продукции из других стран. (До 1970 г. на индийском рынке доминировали транснациональные компании – 85% фармацевтического рынка.)

Черты смешанной стратегии импортозамещения характерны для экономики Египта. Ведение импортозамещающей политики в последние 25 лет позволило добиться того, что 90% потребляемых в стране лекарственных препаратов числятся продукцией местных товаропроизводителей. В целях реализации промышленного потенциала государством определен значение по наращиванию объемов экспорта продукции муниципального производства с сохранением позиций на внутреннем рынке [6–10].

Абсолютным плюсом стратегии смешанного импортозамещения считается вероятность диверсифицированного становления экономики государства по различным направлениям на базе разумного распределения имеющихся ресурсов.

При противостоянии влиянию кризисных явлений, формируемых в мировой рыночной системе, как развивающиеся, так и индустриально развитые государства, как правило, наращивают роль государственного аппарата в регулировании производственного сектора экономики в целом и “отраслей, которые в наибольшей степени ощущают давление со стороны импортных товарозаменителей”. В таких условиях стратегия импортозамещения зачастую становится наиболее оправданной и благодаря стимулированию потребления товаров, производимых внутри страны, позволяет создавать эффективно функционирующую систему национального хозяйствования.

Итак, снижение зависимости от внешних рынков в рамках реализации импортозамещающей политики осуществляется различными странами по различным моделям, но в конечном итоге основным положительным результатом целенаправленных действий правительства таких государств становится обеспечение развития промышленного потенциала и формирование устойчивой базы по обеспечению самодостаточности экономик отдельных стран на мировом рынке.

Западные секторальные санкции могут привести к снижению доли российской продукции на мировых рынках. Поэтому действия страны должны быть ориентированы на закрепление позиций конкурентных секторов экономики. Как раз они и сумеют гарантировать конкурентное превосходство России на мировых рынках, в том числе за счет выпуска продукции с более высокой добавленной стоимостью.

ЛИТЕРАТУРА

1 Сучкова Н.А. Импортозамещение в продовольственном секторе России с учетом мирового опыта // Международный сельскохозяйственный журнал. 2010. № 2. С. 28–32.

2 Лавут А.А. Поиски латиноамериканской модели // Латинская Америка. 2011. № 2. С. 4–21.

3 Галиева А.Х., Бактымбет А.С., Муканова Т.К. Современное состояние импортозамещения в зарубежных странах // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. 2013. С. 45–48.

4 Кругман П.Р., Морис О.Ф. Международная экономика: теория и политика. Санкт-Петербург, 2003. 757 с.

5 Егорова А.А., Иванова Н.И. Импорт и перспективы импортозамещения на российском рынке автохимии. Саарбрюккен, 2016. 109 р.

6 Bogoviz A.V., Bugaj Y.A., Minenko A.V. Import substitution as the goal of government regulation of agriculture // Agribusiness Sector: Economics, Management. 2016.

7 Baer W. Brazil’s Import-Substitution Industrialization // The Oxford Handbook of the Brazilian Economy. 2018. P. 89.

8 Kryukov I.V. Import Substitution of Technology and Equipment in the Russian Energy Sector // Problems of Economic Transition. 2017. V. 59. № 1-3. P. 58-71.

9 Apokin A., Gnidchenko A., Sabelnikova E. Import Substitution Potential and Gains from Economic Integration: Disaggregated Estimations // Economic Policy. 2017. V. 2. P. 44-71.

10 Watson P., Kay D., Alward G., Cooke S. et al. Evaluating the Extent and Economic Contribution of a Local Food System through an Import Substitution Framework. 2015. 38 p.

11 Galiani S., Somaini P. Path-dependent import-substitution policies: the case of Argentina in the twentieth century // Latin American Economic Review. 2018. V. 27. №. 1. P. 5.

REFERENCES

1 Suchkova N.A. Import substitution in the food sector of Russia, taking into account international experience. *Mezhdunarodnyj sel'skohozyajstvennyj zhurnal* [International Agricultural Journal]. 2010. no. 2. pp. 28–32. (in Russian)

2 Lavut A.A. The search for the Latin American model. *Latinskaya Amerika* [Latin America]. 2011. no. 2. pp. 4–21. (in Russian)

3 Galieva A.H., Baktymbet A.S., Mukanova T.K. The current state of import substitution in foreign countries. *Vestnik Evrazijskogo nacional'nogo universiteta imeni L.N. Gumileva* [Bulletin of the Eurasian National University named after L.N. Gumilyov]. 2013. pp. 45–48. (in Russian)

4 Krugman P.R., Moris O.F. Mezhdunarodnaya ehkonomika: teoriya i politika [International Economics: Theory and Politics]. St. Petersburg, 2003. 757 p. (in Russian)

5 Egorova A.A., Ivanova N.I. Import i perspektivy importozameshcheniya na rossijskom rynke avtohimii [Import and import substitution prospects in the Russian auto chemistry market]. Saarbrucken, 2016. 109 p.

6 Bogoviz A.V., Bugaj Y.A., Minenko A.V. Import substitution as the goal of government regulation of agriculture. Agribusiness Sector: Economics, Management. 2016.

7 Baer W. Brazil's Import-Substitution Industrialization. The Oxford Handbook of the Brazilian Economy. 2018. pp. 89.

8 Kryukov I.V. Import Substitution of Technology and Equipment in the Russian Energy Sector. Problems of Economic Transition. 2017. vol. 59. no. 1–3. pp. 58-71.

9 Apokin A., Gnidchenko A., Sabelnikova E. Import Substitution Potential and Gains from Economic Integration: Disaggregated Estimations. Economic Policy. 2017. vol. 2. pp. 44–71.

10 Watson P., Kay D., Alward G., Cooke S. et al. Evaluating the Extent and Economic Contribution of a Local Food System through an Import Substitution Framework. 2015. 38 p.

11 Galiani S., Somaini P. Path-dependent import-substitution policies: the case of Argentina in the twentieth century. Latin American Economic Review. 2018. vol. 27. no. 1. pp. 5.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алишер Ш. Субхонбердиев к.э.н., доцент, кафедра мировой и национальной экономики, Воронежский государственный лесотехнический университет, ул. Тимирязева, 8, Воронеж, 394087, Россия, alisher-man@mail.ru

Алексей Н. Шевченко к.э.н., «Агентство по инвестициям и стратегическим проектам» правительства Воронежской области, ул. Свободы, 14, Воронеж, 394018, Россия

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Alisher Sh. Subhonberdiev Cand. Sci. (Econ.), associate professor, world and national economy department, Voronezh state forest engineering University, Timiryazeva str., 8, Voronezh, 394087, Russia, alisher-man@mail.ru

Alexey N. Shevchenko Cand. Sci. (Econ.), Investment and strategic projects Agency of the Voronezh region government, Svobody str., 14, Voronezh, 394018, Russia

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

CONTRIBUTION

Authors equally took part in writing the manuscript and are responsible for plagiarism

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

ПОСТУПИЛА 12.11.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 10.12.2018

RECEIVED 11.12.2018

ACCEPTED 12.10.2018

Краткое сообщение/Short message

УДК 330.117

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-403-407

Территория опережающего развития как инструмент привлечения инвестиций в регион

Алишер Ш. Субхонбердиев [1] alisher-man@mail.ru
Елена В. Титова [1] titova.elena1981@mail.ru
Данил А. Кустов [2] danil-kustov@mail.ru
Наталья Н. Лобачева [3] naloni@mail.ru

[1] Воронежский государственный лесотехнический университет, ул. Тимирязева, 8, г.Воронеж, 394087, Россия
[2] «Агентство по инвестициям и стратегическим проектам» правительства Воронежской области, ул. Свободы, 14, Воронеж, 394018, Россия
[3] Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. В статье проанализированы причины возникновения территорий опережающего развития (ТОР), рассмотрены льготы, предоставляемые государством резидентам ТОР, выделены этапы формирования ТОР. Под территорией опережающего социально-экономического развития понимается часть территории субъекта Российской Федерации, включая закрытое административно-территориальное образование, на которой в соответствии с решением Правительства Российской Федерации установлен особый правовой режим осуществления предпринимательской и иной деятельности в целях формирования благоприятных условий для привлечения инвестиций, обеспечения ускоренного социально-экономического развития и создания комфортных условий для обеспечения жизнедеятельности населения. Целями создания территорий опережающего развития являются: развитие высокотехнологичных отраслей экономики, повышение конкурентоспособности экономики, создание новых рабочих мест и улучшение качества трудовых ресурсов, выравнивание территориальных диспропорций, производство новых импортозамещающих и экспортно ориентированных видов продукции, и многое другое. Необходимость привлечения инвестиций на территорию, не только проблемных регионов Российской Федерации, но и страны в целом, стало еще одним толчком по созданию территорий опережающего социально-экономического развития. Для резидентов ТОР предусмотрены: право на освобождение от обязанностей налогоплательщика НДС в течение 10 лет со дня получения статуса резидента ТОР; установление нулевой ставки НДС в отношении товаров (работ, услуг), ввозимых на ТОР для использования резидентами ТОР; использование ускоренной амортизации по принадлежащим им объектам амортизируемого имущества; пониженная ставка по налогу на прибыль организаций. Благодаря перечисленным мерам, снижение издержек бизнеса составит от 40%, что станет огромным стимулом для открытия бизнеса на территориях Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Ключевые слова: территория опережающего развития, особые экономические зоны, льготы для резидентов

Territory of sustainable development as a tool for investment in the region

Alisher Sh. Subhonberdiev [1] alisher-man@mail.ru
Elena V. Titova [1] titova.elena1981@mail.ru
Danil A. Kustov [2] danil-kustov@mail.ru
Natalja N. Lobacheva [3] naloni@mail.ru

[1] Voronezh state forest engineering University, Timiryazeva str., 8, Voronezh, 394087, Russia
[2] Agency for investment and strategic projects, Svobody str., 14, Voronezh, 394018
[3] Voronezh state university of engineering technologies, Revolution av., 19, Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The article analyzes the causes of priority development territories (TOR), discussed the benefits provided by the state to residents of the top, highlighted the steps of forming the top. The territory of the advanced social and economic development is understood to be part of the territory of the subject of the Russian Federation, including a closed administrative and territorial formation, in which, in accordance with the decision of the Government of the Russian Federation, a special legal regime for the implementation of entrepreneurial and other activities is established to create favorable conditions for attracting investments, socio-economic development and the creation of comfortable conditions for the provision of livelihoods nosti population. The objectives of the creation of priority development areas are: the development of high-tech sectors of the economy, improving the competitiveness of the economy, creating new jobs and improving the quality of human resources, the alignment of the territorial imbalances, the production of new import-substituting and export-oriented products, and more. The need to attract investment to the territory, not only the problem of the Russian Federation regions and the country as a whole, has become another impetus for the creation of areas of advancing socio-economic development. For residents of the TOP, the following rights are provided: the right to release VAT from the duties of a taxpayer for 10 years from the date of obtaining the status of a TOP resident; establishment of a zero VAT rate in respect of goods (works, services) imported to the TOP for use by TOP residents; use of accelerated depreciation on the objects of depreciable property belonging to them; a lowered rate of corporate income tax. Thanks to the above measures, the cost reduction of business will be from 40%, which will be a huge incentive for business opening in the territories of Eastern Siberia and the Far East.

Keywords: territory of sustainable development, privileges for residents, stages of sustainable development territory's formation

Для цитирования
Субхонбердиев А.Ш., Титова Е.В., Кустов Д.А., Лобачева Н.Н. Территория опережающего развития как инструмент привлечения инвестиций в регион // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 403–407. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-403-407

For citation
Subhonberdiev A.Sh., Titova E.V., Kustov D.A., Lobacheva N.N. Territory of sustainable development as a tool for investment in the region. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 403–407. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-403-407

Существует множество инструментов повышения инвестиционной привлекательности региона. Со временем большинство из них перестают работать, т.к. мир развивается все более быстрыми темпами, в связи с чем создаются новые инструменты. К таким инструментам относятся в том числе ТОР или ТОСЭР. Этот инструмент нельзя назвать чем-то совершенно новым. Он является разновидностью СЭЗ (свободные экономические зоны), которые были адаптированы под экономические условия РФ.

Соответствие инвестиционной привлекательности региона требованиям инвесторов является первой причиной создания территорий опережающего развития. Второй причиной создания ТОСЭР является обеспечение стабильного развития экономики как города, так и региона в целом. Было отмечено, что данный инструмент существовал задолго до создания ТОР. Имеется в виду создание на территории РФ ОЭЗ (особых экономических зон), которые за последнюю пару лет стали основой привлечения инвестиций не только отечественных, но и иностранных на территории регионов.

Необходимость привлечения инвестиций на территорию не только проблемных регионов РФ, но и страны в целом стала еще одним толчком по созданию территорий опережающего социально-экономического развития.

Согласно Федеральному закону от 29 декабря 2014 г. № 473-ФЗ «О территориях опережающего социально-экономического развития в Российской Федерации» в России начнут действовать территории опережающего социально-экономического развития, которые предусматривают целый ряд преференций для бизнеса в части установления особого правового режима осуществления предпринимательской деятельности. Законопроект определяет условия и порядок создания территорий опережающего социально-экономического развития (далее – ТОР). В первые три года подобные территории могут устанавливаться только на Дальнем Востоке. В случае положительного эффекта для экономики подобную практику планируют распространить по всей России.

Под ТОСЭР понимается часть территории субъекта РФ, включая закрытое административно-территориальное образование, на которой в соответствии с решением Правительства Российской Федерации установлен особый правовой режим осуществления предпринимательской и другой деятельности в целях формирования благоприятных условий для привлечения инвестиций, обеспечения ускоренного социально-экономического развития и создания благоприятных условий для обеспечения жизнедеятельности населения [1].

Из определения, представленного в федеральном законе, вытекает ряд важных моментов.

Во-первых, ТОРы будут устанавливать не на любой территории РФ, а только на той, которую определило в качестве ТОР правительство. Субъект РФ не сможет без согласия правительства установить подобную зону на подведомственной ему территории.

Во-вторых, на ТОРах будет установлен особый режим воплощения предпринимательской деятельности. В частности, за счёт существенного снижения различных административных запретов и снижения налогов и страховых взносов.

В-третьих, целями создания ТОРов являются развитие высокотехнологичных отраслей экономики, повышение конкурентоспособности, создание новых рабочих мест и улучшение качества трудовых ресурсов, выравнивание территориальных диспропорций, производство новых импортозамещающих и экспортно-ориентированных видов продукции, улучшение благосостояния населения, создание и развитие промышленной и деловой инфраструктуры международного уровня, поступление дополнительных доходов в бюджет, привлечение инвесторов и сопровождение деятельности резидентов и многое другое.

О создании на территории РФ подобных зон впервые заявил президент В.В. Путин в своем ежегодном послании Федеральному собранию 12 декабря 2013 года. Глава государства предложил «создать на Дальнем Востоке и в Сибири сеть специальных зон и территорий опережающего экономического развития с особыми условиями для создания несырьевых производств, ориентированных в том числе и на экспорт».

В первую очередь, ТОРы будут созданы только в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. Это связано с тем, что эти регионы обладают уникальным экономическим потенциалом для развития в связи с огромным количеством природных ресурсов (к примеру, на территориях этих двух федеральных округов сосредоточен практически 100% запас олова, платины и урана). Впоследствии, если будет достигнут положительный эффект, подобную практику планируется распространить и на других территориях России.

ТОР могут создаваться на 70 лет и только по решению правительства РФ на основании предложения уполномоченного федерального органа. Срок существования территории опережающего социально-экономического развития может быть увеличен по решению правительства [2].

Финансовое обеспечение размещения объектов инфраструктуры на территории опережающего социально-экономического развития осуществляется за счет средств федерального

бюджета, бюджета субъекта РФ и местных бюджетов, а также внебюджетных источников финансирования. Каждой территорией будет заниматься специальная управляющая компания. Она должна будет создать там инфраструктуру и обеспечить предоставление юридических, бухгалтерских, таможенных и других услуг. Бизнесмены, желающие получить статус резидента территории, должны заключить специальное соглашение с властями. После чего на них распространится особый режим налогообложения и облегченные правила управления бизнесом. Для каждой территории будет составлен список разрешённых видов бизнеса. Кроме того, требования могут предъявляться к используемым технологиям и оборудованию [5-10].

Однако законопроект вводит ограничение, по которому ТОР не может быть ближе 50 км по отношению к городам-миллионникам. Но в настоящий момент в самом Дальневосточном ФО нет городов-миллионников, и они вряд ли появятся в ближайшее время. Резидентам ТОР (бизнесу, удовлетворяющему установленным критериям, в том числе и по сумме инвестиций, и видам экономической деятельности для конкретного ТОР, и получившему статус резидента) будут предоставлены следующие льготные условия ведения предпринимательской деятельности:

- особый режим землепользования;
- установление льготных ставок арендной платы;
- льготы по налогам и страховым платежам;
- особый режим государственного и муниципального контроля (надзора);
- льготное подключение к объектам инфраструктуры;
- применение таможенной процедуры свободной таможенной зоны;
- применение технических и санитарных регламентов наиболее развитых стран ОЭСР;
- упрощенный порядок привлечения квалифицированного иностранного персонала. Условия привлечения иностранного персонала к трудовой деятельности в ТОР будут проще условий, установленных Законом «О правовом положении иностранных граждан в Российской Федерации», а именно:

— получение работодателем разрешения на привлечение и использование иностранных работников не требуется;

— приглашения на въезд в РФ в целях осуществления трудовой деятельности, а также разрешения на работу иностранным гражданам на территории ТОР выдаются без учета квот на их выдачу. Также без учета квот выдаются разрешения на работу членам семей высококвалифицированных мастеров;

— оформление приглашений на въезд и разрешений на работу осуществляется через управляющую компанию или ее дочернее общество;

— требование к размеру заработной платы (вознаграждения) высококвалифицированного специалиста, предусмотренное законом, не применяется.

Вместе с тем к лицам, работающим у резидентов ТОР, не будут применяться положения законодательства о гарантиях и компенсациях для лиц, работающих и проживающих в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях в части, касающейся выплаты процентной надбавки к заработной плате за стаж работы в данных районах [3–4].

Для резидентов ТОР предусмотрены:

— право на освобождение от обязанностей налогоплательщика НДС в течение 10 лет со дня получения статуса резидента ТОР. Такое освобождение будет применяться также в связи с ввозом товаров на территорию РФ;

— установление нулевой ставки НДС в отношении товаров (работ, услуг), ввозимых на ТОР для использования резидентами ТОР;

— использование ускоренной амортизации по принадлежащим им объектам амортизируемого имущества (с коэффициентом 2);

— пониженная ставка по налогу на прибыль организаций:

- нулевая ставка налога, уплачиваемая в федеральный бюджет (вместо стандартных 2%) на период 10 лет с первого налогового периода после приобретения статуса резидента ТОР;
- пониженная ставка налога, уплачиваемого в бюджеты субъектов РФ (вместо стандартных 18%), а именно: ставка не выше 5% в течение первых 10 лет и затем не более 10% (без ограничения срока);

— после потери статуса резидента право на применение пониженных ставок налога теряется. Применение пониженных ставок предполагает ведение раздельного учета доходов для целей налогообложения;

— освобождение от уплаты налога на имущество организаций в течение 10 лет с месяца, следующего за месяцем постановки на учет имущества, созданного или приобретенного для целей ведения бизнеса в ТОР;

— применение пониженных тарифов страховых взносов для работодателей-резидентов ТОР (7,6% вместо стандартных 30%).

По оценкам экспертов, благодаря перечисленным выше мерам снижение издержек бизнеса составит от 40%, что станет огромным стимулом для открытия бизнеса на данных территориях.

ЛИТЕРАТУРА

1 О территориях опережающего социально-экономического развития в Российской Федерации (Федеральный закон Российской Федерации № 473-ФЗ от 29.12.2014).

2 Территории вместо зон // Ведомости. URL: http://www.vedomosti.ru/newspaper/articles /2014/07/17/territorii-vmesto-zon.

3 Выбраны площадки для территорий опережающего развития на Дальнем Востоке // Деловая газета «Взгляд». URL: http://vz.ru/news / 2014/6/23/692319.html.

4 Мистров Л.Е., Дерканосова А.А. Методы информационного воздействия при синтезе стратегий управления конкурентоспособностью социальноэкономических организаций // Вестник ВГУИТ. 2013. № 4. С. 282-288. doi: 10.20914/2310-1202-2013-4-282-288

5 Баканач О.В., Проскурина Н.В., Токарев Ю.А. Статистический анализ факторов конкурентоспособности регионов Российской Федерации // Вестник ВГУИТ. 2015. № 4. С. 222-228. doi: 10.20914/2310-1202-2015-4-222-228

6 Саликов Ю.А., Золотарева И.И., Бородкина Т.А. Угрозы экономической безопасности региона // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79 № 1. С. 490-496. doi: 10.20914/2310-1202-2017-1-490-496

7 Barca F., McCann P., Rodriguez-Pose A. The case for regional development intervention: place-based versus place-neutral approaches // Journal of regional science. 2012. V. 52. № 1. P. 134–152.

8 Popkova E.G., Shachovskaya L.S., Romanova M.K. Bases of transition of the territory to sustainable development: Modern city // World Applied Sciences Journal. 2013. V. 23. № 11. P. 1499–1507.

9 Mascarenhas A., Coelho P., Subtil E., Ramos T.B. The role of common local indicators in regional sustainability assessment // Ecological indicators. 2010. V. 10. № 3. P. 646-656.

10 Terrados J., Almonacid G., Hontoria L. Regional energy planning through SWOT analysis and strategic planning tools.: Impact on renewables development // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2007. V. 11. № 6. P. 1275–1287.

11 Хорев А.И., Морковина С.С., Соколинская Ю.М. Факторы кризисного развития малого предпринимательства // Вестник ВГУИТ. 2015. № 1 (63). С. 223–228.

12 Васильев К.А., Шамин А.Е. Методические подходы к оценке потенциала кластеризации аграрной сферы региона // Вестник НГИЭИ. 2016. № 5 (60). С. 7–18.

13 Костылев А.Р. Планирование и стратегии развития инноваций в организации // Вестник НГИЭИ. 2017. № 10 (77). С. 107–117.

REFERENCES

1 O territoriyah operezhayushchego social'no-ehkonomicheskogo razvitiya v Rossijskoj Federacii [On the territories of advanced socio-economic development in the Russian Federation (Federal Law of the Russian Federation No. 473 FZ of December 29, 2014)]. (in Russian).

2 Territories instead of zones. *Vedomosti* [Statements]. Available at: http://www.vedomosti.ru/newspaper/articles /2014/07/17/territorii-vmesto-zon. (in Russian).

3 Selected sites for advanced development areas in the Far East. *Delovaya gazeta «Vzglyad»* [Business newspaper "Vzglyad"]. Available at: http://vz.ru/news /2014/6/23/692319.html. (in Russian).

4 Mistrov L.E., Derkanosova A.A. Methods of information exposure in the synthesis of control strategies of com-petitive stability of a socioeconomic organizations. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2013. no. 4. pp. 282–288. doi: 10.20914/2310-1202-2013-4-282-288 (in Russian).

5 Bakanach O.V., Proskurina N.V., Tokarev Yu.A. Statistical analysis of competitiveness factors of regions of the Russian Federation. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2015. no. 4. pp. 222–228. doi: 10.20914/2310-1202-2015-4-222-228 (in Russian).

6 Salikov Y.A., Zolotareva I.I., Borodkina T.A. Threats to economic security of the region. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2017. vol. 79 no. 1. pp. 490-496. doi: 10.20914/2310-1202-2017-1-490-496 (in Russian).

7 Barca F., McCann P., Rodriguez-Pose A. The case for regional development intervention: place-based versus place-neutral approaches. Journal of regional science. 2012. vol. 52. no. 1. pp. 134–152.

8 Popkova E.G., Shachovskaya L.S., Romanova M.K. Bases of transition of the territory to sustainable development: Modern city. World Applied Sciences Journal. 2013. vol. 23. no. 11. pp. 1499–1507.

9 Mascarenhas A., Coelho P., Subtil E., Ramos T.B. The role of common local indicators in regional sustainability assessment. Ecological indicators. 2010. vol. 10. no. 3. pp. 646–656.

10 Terrados J., Almonacid G., Hontoria L. Regional energy planning through SWOT analysis and strategic planning tools.: Impact on renewables development. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2007. vol. 11. no. 6. pp. 1275–1287.

11 Horev A.I., Morkovina S.S., Sokolinskaya Yu.M. Factors of the crisis development of small business. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2015. no. 1 (63). pp. 223–228. (in Russian).

12 Vasil'ev K.A., Shamin A.E. Methodical approaches to assessing the clustering potential of the agricultural sector in the region. *Vestnik NGIEHI* [Herald NGIEI]. 2016. no. 5 (60). pp. 7–18. (in Russian).

13 Kostylev A.R. Planning and strategies for the development of innovation in the organization. *Vestnik NGIEHI* [Herald NGIEI]. 2017. no. 10 (77). pp. 107–117. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алишер Ш. Субхонбердиев к.э.н., доцент, Воронежский государственный лесотехнический университет, ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия, alisher-man@mail.ru

Елена В. Титова к.э.н., доцент, Воронежский государственный лесотехнический университет, ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия, titova.elena1981@mail.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Alisher Sh. Subhonberdiev Cand. Sci. (Econ.), associate professor, Voronezh state forest engineering University, Timiryazeva str., 8, Voronezh, 394087, Russia, alisher-man@mail.ru

Elena V. Titova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, Voronezh state forest engineering University Timiryazeva str., 8, Voronezh, 394087, Russia, titova.elena1981@mail.ru

Данил А. Кустов к.э.н., доцент ВГУ, директор ОГБУ, «Агентство по инвестициям и стратегическим проектам» правительства Воронежской области, ул. Свободы, 14, Воронеж, 394018, Россия, danil-kustov@mail.ru

Наталья Н. Лобачева к.т.н. доцент, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, Воронеж, 394036, Россия, naloni@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 30.08.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 23.10.2018

Danil A. Kustov Cand. Sci. (Econ.), associate professor of VSU, director, Agency for investment and strategic projects, Svobody str., 14, Voronezh, 394018, danil-kustov@mail.ru

Natalja N. Lobacheva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution av., 19, Voronezh, 394036, Russia, naloni@mail.ru

CONTRIBUTION

All authors equally took part in writing the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 8.30.2018

ACCEPTED 10.23.2018

Краткое сообщение/ Short message

УДК 330

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-408-412

Содержание структурных преобразований экономики региона, адекватных требованиям цифровизации

Надежда А. Серебрякова [1] nad.serebryakova@mail.ru
Иван В. Авдеев [1] iavdeev@vgasu.vrn.ru

[1] Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Информатизация и глобализация экономики, а также сокращение удельного веса традиционных укладов и отраслей, расширение сферы услуг, наукоемких и высокотехнологичных отраслей служат предпосылкой для структурных преобразований экономики Российской Федерации и ее субъектов, которые необходимы в условиях инновационного развития и цифровизации экономики. Цифровая экономика в наиболее общем виде представляет собой экономику нового типа, в которой основополагающее значение имеют отношения по поводу производства, обработки, хранения, передачи и использования увеличивающегося объема данных. Цифровая экономика представляет собой фундамент развития экономики и оказывает воздействие на такие разнообразные отрасли как банковская, розничная торговля, транспорт, энергетика, образование, здравоохранение и многие другие. Цифровизация экономики предъявляет существенные требования к структурным преобразованиям, протекающим на региональном уровне. Авторами установлено, что коренным образом должна измениться методология структурных преобразований в части трансформации следующих ее элементов: цели, принципов, факторов, барьеров, направлений. Реализация структурных преобразований экономики региона с учетом требований цифровой экономики позволит получить следующие эффекты: возможность социального лифта – обеспечение роста человеческого капитала (от школы до реализации в экономической жизни); стимулирование деловой активности и развитие дистанционной занятости – увеличение профессиональной мобильности; привлечение инвестиций в регион за счет быстрого разворачивания виртуальной инфраструктуры; снижение криминализации в обществе, социально-экономический рост.

Ключевые слова: регион, экономика региона, структурные преобразования экономики региона, цифровизация

The content of structural transformations of the region's economy, adequate to the requirements of digitalization

Nadezhda A. Serebryakova [1] nad.serebryakova@mail.ru
Ivan V. Avdeev [1] iavdeev@vgasu.vrn.ru

[1] Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract.Informatization and globalization of the economy, as well as the reduction of the share of traditional structures and industries, the expansion of services, knowledge-intensive and high-tech industries are a prerequisite for structural reforms of the economy of the Russian Federation and its subjects, which are necessary in the conditions of innovative development and digitalization of the economy. The digital economy, in its most General form, is a new type of economy in which relations about the production, processing, storage, transmission and use of increasing amounts of data are fundamental. The digital economy is the Foundation of the economy and has an impact on a variety of industries such as banking, retail, transport, energy, education, health and many others. The digitalization of the economy places significant demands on the structural transformations taking place at the regional level. The authors found that the methodology of structural transformations in terms of transformation of its following elements should change radically: goals, principles, factors, barriers, directions. The implementation of structural reforms of the region's economy, taking into account the requirements of the digital economy, will allow to obtain the following effects: the possibility of social lift – ensuring the growth of human capital (from school to implementation in economic life); stimulating business activity and the development of remote employment – increasing professional mobility; attracting investment in the region due to the rapid deployment of virtual infrastructure; reducing criminalization in society, socio-economic growth.

Keywords:region, regional economy, structural transformation of the region's economy, digitalization

Введение

В настоящее время происходит усложнение общественных отношений и структур, в основе которых лежат современные цифровые технологии. Все это актуализирует вопрос о становлении и развитии цифровой экономики. Цифровая экономика в общем виде представляет собой экономику нового типа, в которой основополагающее значение имеют отношения по поводу производства, обработки, хранения, передачи и использования увеличивающегося объема данных [9]. Под «цифровой экономикой», по мнению К.А. Семячкова, следует понимать «современный тип хозяйствования, характеризующегося преобладающей ролью данных и методов управления ими как определяющего ресурса в сфере производства, распределения, обмена и потребления. Цифровая экономика

Для цитирования

Серебрякова Н.А., Авдеев И.В. Содержание структурных преобразований экономики региона, адекватных требованиям цифровизации // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 408–412. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-408-412

For citation

Serebrjakova N.A., Avdeev I.V. The content of structural transformations of the region's economy, adequate to the requirements of digitalization. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 408–412. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-408-412

является базой развития в целом и оказывает воздействие на такие разнообразные отрасли, как банковская, розничная торговля, транспорт, энергетика, образование, здравоохранение и многие другие. Цифровые технологии, такие как, интернет вещей (IoT), большие данные (bigdata), использование мобильных устройств и девайсов преобразуют способы социального взаимодействия, экономические отношения, институты. Появляются новые способы кооперации и координации экономических агентов для совместного решения определенных задач (sharingeconomy)» [10].

Необходимо отметить, что воздействие цифровых технологий на изменение структуры социально-экономических систем всех уровней очевидно, однако многие аспекты остаются малоизученными. Не уделяется внимание таким ключевым вопросам, как: развитие цифрового потенциала для обеспечения инновационного роста на всех уровнях хозяйствования; институционализация цифровой экономики; направления, перспективы и барьеры для развития бизнеса в условиях цифровой экономики; определение места цифровой экономики в системе современных хозяйственных отношений[1].

В современных условиях предприятия цифрового сектора выходят на лидирующие позиции и преобразуются в точки роста, обеспечивая экономику цифровым ресурсом. Так, если в начале 20 века лидерами мировой экономики являлись крупные металлургические, нефтяные, машиностроительные и добывающие предприятия, то в 21 веке флагманом мировой экономики выступает цифровой сектор.

В последние годы о важности развития цифровой экономики в России все чаще заявляется на самом высоком уровне. «Среди предпосылок развития цифровой экономики в России можно выделить несколько аспектов. Во-первых, система российского образования имеет высокий потенциал для подготовки специалистов цифровой экономики. Это особенно важно, поскольку в условиях цифровой экономики человек будет сосредоточен в основном на реализации новых возможностей и системной организации взаимодействия в экосистеме людей и машин, а рутинные операции будут выполнять машины. Во-вторых, имеются оригинальные организационно-технологические решения по созданию эффективной инфраструктуры цифровой экономики. В-третьих, интеграция и развитие конкретных кейсов на базе современных принципов цифровой экономики создаст синергетический эффект и приведет к общему росту экономики России» [10].

Результаты и обсуждение

Программа развития цифровой экономики в РФ определяет ряд требований по переходу к цифровой экономике. Среди таковых можно назвать следующие:

1) использование программно-прогностической модели управления экономикой вместо программно-целевой;

2) трансформация традиционных рынков, социальных и социально-трудовых отношений, а также госуправления в направлении цифровизации;

3) кардинальное преобразование структуры экономики посредством повышения эффективности основных экономических процессов, базирующихся на развитой цифровой инфраструктуре;

4) переход к институтам, основанным на цифровых процессах и моделях.

По мнению авторов, сложившаяся к настоящему времени нормативно-правовая база, в том числе «Программа развития цифровой экономики в РФ до 2035 года», устанавливает лишь общие рамки процессу перехода к цифровой экономике. Данные программные документы лишены конкретики и целостности. Однако данные документы выступают ориентиром при разработке и реализации программ, стратегий, политики, регулирующих отношения во всех сферах жизнедеятельности, в том числе и в структурной политике региона.

Структурные преобразования осуществляются в рамках структурной политики региона и предполагают консенсус органов региональной власти, бизнеса и его представителей, научных институтов, образовательных организаций, профсоюзов и местного населения [2]. Содержание структурных преобразований рыночного и административного типов может быть представлено как методология структурных преобразований. Как отмечает И.В. Гарбуз, «методология структурных преобразований экономики региона должна базироваться на системном подходе, в контексте которого сама мезоэкономика рассматривается как сложная система, структура которой проявляется во взаимодействиях между элементами экономической системы и в результатах воздействия такого взаимодействия на систему. Предполагается, что если проводимые структурные преобразования носят целенаправленный характер, то изменение пропорциональных связей структуры региональной экономики происходит последовательно и без резких колебаний. При этом необходимо понимать, что структура региональной экономики

как объект воздействия весьма противоречива – она одновременно и устойчива и изменчива, что, в свою очередь, свидетельствует об инерции структурных преобразований» [6]. По нашему мнению, методология структурных преобразований должна включать следующие элементы:

– цель структурных преобразований на уровне региона, которая в широком понимании заключается в обеспечении роста региональной экономики путем гармонизации ее структуры;

– принципы структурных преобразований в экономике региона. Как пишет И.В. Гарбуз, они «лежат в основе разработки форм практической реализации таких преобразований. Тоесть принципы структурных преобразований определяют подходящую форму воздействия, а также соответствие выбранной формы воздействия выявленной структурной проблеме и степень такого воздействия» [6];

– факторы структурных преобразований на мезоуровне, которые традиционно подразделяются на внешние и внутренние, а также на интенсивные и экстенсивные;

– барьеры, препятствующие структурным преобразованиям на региональном уровне;

– направления структурных преобразований в экономике региона. По мнению И.В. Гарбуз, «приоритетными для структурных преобразований региональных экономик являются следующие направления: социальное, отраслевое, кластерное, интеграционное, модернизационное. Условия реализации структурных воздействий в названных направлениях состоят в развитии инвестиционной и инновационной инфраструктуры, а также в обеспечении воздействующих субъектов соответствующими информационными, кадровыми и административно-правовыми ресурсами» [6].

В условиях цифровизации содержание структурных преобразований должно быть скорректировано с учетом требований цифровой экономики [1, 3].

Из данного тезиса вытекает необходимость корректировки самой методологии структурных преобразований экономики региона, а именно она должна строиться на системно-ситуационном подходе. Суть данного подхода состоит в том, что любая система, имеющая сложную и неоднородную структуру, должна не только быть сбалансированной, но и своевременно преобразовываться с учетом турбулентности внешней среды. Такое видение методологии удовлетворяет требованию перехода к цифровой экономике, которое состоит в необходимости использования программно-прогностической модели управления экономикой.

Целью структурных преобразований в соответствии с требованиями цифровой экономики выступает обеспечение роста региональной экономики путем гармонизации ее структуры и повышения эффективности основных экономических процессов, базирующихся на развитой цифровой инфраструктуре [7, 8].

Структурные преобразования экономики региона должны основываться не только на базовых принципах, таких, как:

– принцип анализа, предполагающий единство теории и практики, развитие путем разрешения противоречий;

– принцип изменения структуры, базирующийся на использовании аттракторов и катализаторов процесса структурных изменений, системности и изоморфизма, синергетического эффекта;

– принцип последовательности структурных преобразований.

Требования цифровой экономики предполагают расширение данного перечня путем включения таких принципов, как:

– принцип адаптивности или гибкости структурных преобразований с учетом высокой скорости изменения цифровых технологий;

– принцип гармоничности, предполагающий создание такой структуры экономики региона, в которой будут гармонично развиваться традиционные и «цифровые» секторы экономики;

– принцип стратегирования, заключающийся в необходимости непрерывного прогнозирования возможных изменений внешней среды для построения структуры экономики региона адекватной им.

Наряду с традиционно выделяемыми факторами структурных преобразований региональной экономики в условиях цифровизации основными факторами структурных преобразований, по нашему мнению, будут выступать НТП, развитие цифровых технологий, информация и инновации.

К числу основных барьеров, препятствующих структурным преобразованиям на региональном уровне с учетом требований цифровой экономики, по мнению автора, можно отнести недостаточный уровень развития соответствующей инфраструктуры, информационно-коммуникационных технологий, цифровая безграмотность весомой части населения [5].

Приоритетными направлениями целеориентированных структурных преобразований экономики регионов в условиях цифровизации выступают технологическо-модернизационное, кластерное, рыночно-конкурентное, инфраструктурное, а также социальное преобразование (рисунок 1).

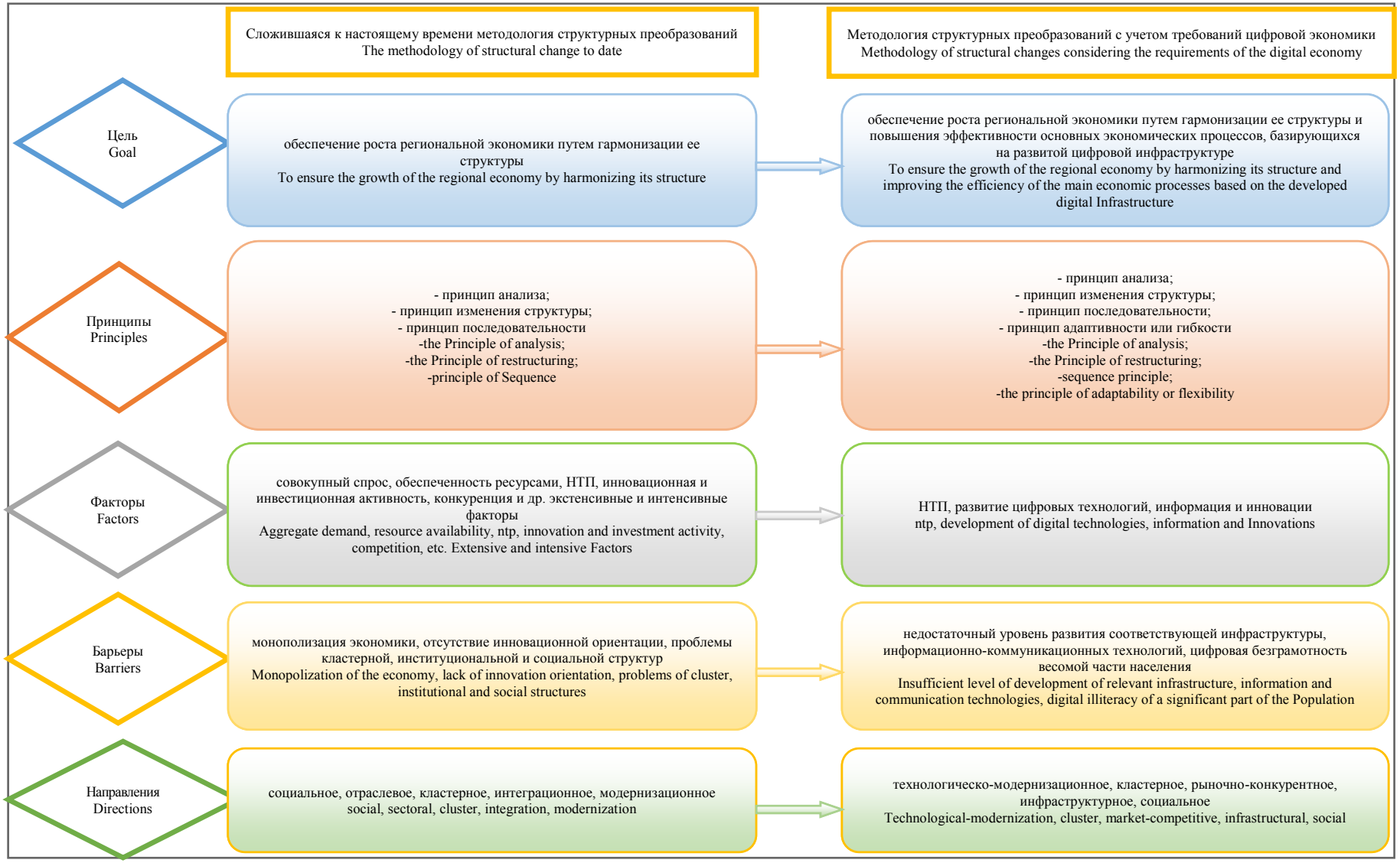


Рисунок 1. Трансформация содержания структурных преобразований с учетом цифровизации

Figure1. Transforming the content of structural adjustment in the light of digitalization

Заключение

Реализация структурных преобразований экономики региона с учетом требований цифровой экономики позволит получить следующие эффекты:

1) появление социального лифта, под которым можно понимать расширение возможностей для роста человеческого капитала;

2) формирование мотивов деловой активности, а также распространение дистанционной занятости, и, как следствие, рост профессиональной мобильности;

3) приток инвестиций в экономику региона посредством интенсивного развития виртуальной инфраструктуры;

4) сокращение криминализации общества, социально-экономический рост.

Таким образом, требования цифровой экономики предполагают существенное изменение содержания структурных преобразований экономики на региональном уровне, состоящее в уточнении цели, дополнении принципов, расширении состава факторов и транс-формации барьеров и направлений.

ЛИТЕРАТУРА

1 Cruz-Jesus F., Oliveira T., Bacao F., Irani Z. Assessing the pattern between economic and digital development of countries // Inf Syst Front. 2017. V. 19. № 4. P. 835-854. doi: 10.1007/s10796–016–9634–1

2 Fedchenko A.A., Kolesnikova O.A., Dashkova E.S., Dorokhova N.V. Methodologigal approaches to study of informal employment // Journal of Applied Economic Sciences. 2016. V. 11. № 7. P. 1281–1289.

3 Liebert N. Employment Policy in Times of Crisis. From a Job-Rich Recovery to Sustainable Structural Change. Brussels, 2010. URL: http://library.fes.de/pdf-files/iez/global / 07286.pdf

4 Serebryakova N.A., Dorokhova N.V., Isaenko M.I., Dashkova E.S. Directions of transformation of labor relations in the modern conditions // Journal of Applied Economic Sciences. 2016. V. 11. № 8. P. 1542–1551.

5 Букреев С.А. Стратегирование структурных преобразований в экономике регионов России: новые тенденции и направления совершенствования. URL: https://docviewer.yandex.ru/view /121332298

6 Гарбуз И.В. Государственное управление структурными преобразованиями экономики региона. Курск, 2016. С. 30.

7 Дохолян С.В. Петросянц В.З., Садыкова А.М. Особенности структурных преобразований в трансформационной экономике. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-strukturnyh-preobrazovaniy-v-transformatsionnoy-ekonomike

8 Кушнарев А.А. Структурные преобразования экономики как особый объект управления. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/strukturnye-preobrazovaniya-ekonomiki-kak-osobyy-obekt-upravleniya

9 Программа развития цифровой экономики в Российской Федерации до 2035 года. URL: http://spkurdyumov.ru/uploads / 2017/05/strategy.pdf

10 Семячков К.А. Цифровая экономика и ее роль в управлении современными социально-экономическими отношениями // Современные технологии управления. 2017. № 8 (80). URL: https://sovman.ru/article/8001/

REFERENCES

1 Cruz-Jesus F., Oliveira T., Bacao F., Irani Z. Assessing the pattern between economic and digital development of countries. Inf Syst Front. 2017. vol. 19. no. 4. pp. 835-854. doi: 10.1007/s10796–016–9634–1

2 Fedchenko A.A., Kolesnikova O.A., Dashkova E.S., Dorokhova N.V. Methodologigal approaches to study of informal employment. Journal of Applied Economic Sciences. 2016. vol. 11. no. 7. pp. 1281–1289.

3 Liebert N. Employment Policy in Times of Crisis. From a Job-Rich Recovery to Sustainable Structural Change. Brussels, 2010. Available at: http://library.fes.de/pdf-files/iez/global / 07286.pdf

4 Serebryakova N.A., Dorokhova N.V., Isaenko M.I., Dashkova E.S. Directions of transformation of labor relations in the modern conditions. Journal of Applied Economic Sciences. 2016. vol. 11. no. 8. pp. 1542–1551.

5 Bukreev S.A. Strategirovanie strukturnyh preobrazovanij v ehkonomike regionov Rossii: novye tendencii i napravleniya sovershenstvovaniya [Strategizing structural changes in the economy of Russian regions: new trends and areas for improvement]. Available at: https://docviewer.yandex.ru/view /121332298 (in Russian).

6 Garbuz I.V. Gosudarstvennoe upravlenie strukturnymi preobrazovaniyami ehkonomiki regiona [State management of structural transformations of the regional economy]. Kursk, 2016. 30 p. (in Russian).

7 Doholyan S.V. Petrosyanc V.Z., Sadykova A.M. Osobennosti strukturnyh preobrazovanij v transformacionnoj ehkonomike [Features of structural transformations in a transformational economy]. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-strukturnyh-preobrazovaniy-v-transformatsionnoy-ekonomike (in Russian).

8 Kushnarev A.A. Strukturnye preobrazovaniya ehkonomiki kak osobyj ob"ekt upravleniya [Structural transformations of the economy as a special object of management]. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/strukturnye-preobrazovaniya-ekonomiki-kak-osobyy-obekt-upravleniya (in Russian).

9 Programma razvitiya cifrovoj ehkonomiki v Rossijskoj Federacii do 2035 goda [Program for the development of the digital economy in the Russian Federation until 2035]. Available at: http://spkurdyumov.ru/uploads / 2017/05/strategy.pdf (in Russian).

10 Semyachkov K.A. Digital economy and its role in the management of modern socio-economic relations. *Sovremennye tekhnologii upravleniya* [Modern management technologies]. Available at: https://sovman.ru/article/8001/ (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Надежда А. Серебрякова д.э.н., профессор, кафедра теории экономик и учетной политики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия,nad.serebryakova@mail.ru

Иван В. Авдеев соискатель, кафедра теории экономики и учетной политики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия,iavdeev@vgasu.vrn.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 19.04.2018
ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 27.06.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Nadezhda A. Serebryakova Dr. Sci. (Econ.), professor, theory of economics, commodity research and trade department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia,nad.serebryakova@mail.ru

Ivan V. Avdeev applicant, theory of economics, commodity research and trade department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia,iavdeev@vgasu.vrn.ru

CONTRIBUTION

All authors equally took part in writing the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 4.19.2018
ACCEPTED 6.27.2018

Краткое сообщение/Short message

УДК 338.5

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-413-416

Особенности социального иннова-ционного проектирования в энергоменеджменте

Галина С. Армашова-Тельник [1] atgs@yandex.ru

[1] Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, ул. Большая Морская, 67, г. Санкт-Петербург, 190000, Россия

Аннотация. В современных условиях развития энергетического сектора России, целесообразным является метод на основе инновационного подхода. Наличие целого ряда проблем от глобального до локального характера вызывает необходимость модернизации социальной действительности в энергоменеджменте. В данных условиях значимым инструментом выступает инновационное социальное проектирование. Инновационное развитие энергетики, описывающееся в рамках длинных циклов, предстает сегодня в двойственном контексте: технологическом (повышение эффективности существующих технологических процессов, появление принципиально новых технологий и энергоресурсов) и социальном (развитие синергетических, а также Smart направлений, менеджмента организаций и систем комплексного управления инновациями). Инновационные процессы, их воплощение в новых продуктах и технологиях является основой экономического развития. В трудах зарубежных авторов разработаны теоретические основы организации социально инновационных проектов, большое внимание уделено внедрению научно-технических достижений с учетом особенностей современного производства. Инновация как экономическая категория ныне актуальна, как никогда, и отражает наиболее общие свойства, признаки, связи и отношения производства и реализации нововведений. Особую роль играют инновации в повышении конкурентоспособности предприятий. Социальные инновации, применяемые в энергетическом секторе, позволяют предлагать альтернативные модели развития и более активное участие заинтересованных субъектов, однако в инновациях данного типа существует ряд особенностей. В современных экономических условиях необходимо максимизировать усилия в части практикоприменения в энергетическом секторе социальных инновационных проектов, успешная реализация которых предоставляет возможности альтернативных моделей развития и обеспечивает конкурентную привлекательность субъектов хозяйствования как для целевой потребительской аудитории, так и для инвестиционных вливаний.

Ключевые слова: энергосбережение, энергоменеджмент, конкурентоспособность, инновационное проектирование, социальное проектирование

Features of the development of social innovations in the field of energy management

Galina S. Armashova-Telnik [1] atgs@yandex.ru

[1] St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Bolshaya Morskaya str., 67, St. Petersburg, Russia, 190000, Russia

Abstract. In modern development conditions of Russian energy sector, the innovative approach method is recommended to use. Due to the presence number of global and local problems, the need to modernize the social reality in energy management arise. In these conditions, the major tool is the innovative social designing. The innovative development of energy, described in the framework of long cycles, appears today in a dual context: technological (improving the efficiency of existing technological processes, the emergence of fundamentally new technologies and energy resources) and social (development of synergetic and Smart directions, organizational management and systems of integrated innovation management). Innovative processes, their implementation in new products and technologies are the foundations of economic development. In the works of foreign authors developed the theoretical foundations of the organization of social innovation projects, much attention is paid to the introduction of scientific and technical achievements, taking into account the features of modern production. Innovation as an economic category is now more relevant than ever and reflects the most common features, attributes, links and relations of production and implementation of innovations. Innovation as an economic category is now more relevant than ever and reflects the most common features, attributes, links and relations of production and implementation of innovations. Innovation plays a special role in improving the competitiveness of enterprises. Social innovations in the energy sector offer alternative development models and greater stakeholder participation, but there is a number of features in this type of innovation. In the current economic conditions, it is necessary to maximize efforts in the field of practical application of social innovation projects in the energy sector, a successful implementation of which provides opportunities for alternative development models and ensures the competitive attractiveness of business entities for both the consumer groups and investment infusions.

Keywords: energy saving, energy management, competitiveness, innovative design, social design

Введение

Всероссийский центр изучения общественного мнения [17] представляет данные опроса (2016 г.) о том, что россияне понимают под инновациями, как оценивают их роль в жизни страны и что думают о перспективах России. Чаще всего под инновациями россияне понимают любые нововведения (в 27% случаев), а также внедрение современных технологий (15%). Меньше тех, кто полагает, что это использование достижений науки и техники (3%), инвестиции в перспективные отрасли экономики, социальные изменения и конкретные нововведения (по 1%). Каждый второй (53%) в настоящее время затрудняется с оценкой. Чем выше уровень образования опрошенных, тем меньше затруднений у них вызывает определение понятия «инновация» (доля затруднившихся с ответом снижается с 89% в группе с образованием ниже среднего до 30% в группе с высшим и незаконченным высшим) [5].

Для цитирования

Армашова-Тельник Г.С.. Особенности социального иннова-ционного проектирования в энергоменеджменте // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 413–416. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-413-416

For citation

Armashova-Telnik G.S. Features of the development of social innovations in the field of energy management. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 413–416. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-413-416

Необходимо отметить, что термин «innovation» впервые был использован американским экономистом австрийского происхождения Йозефом Шумпетером в работе «Теория экономического развития» в 1912 году. Под инновацией он понимал новшество, которое применено в области технологии производства или управления некоторой хозяйственной единицы. Он первый предположил, что инновация является одним из главных двигателей, генераторов прибыли [10].

Научно-исследовательским институтом системных исследований предложена расширенная классификация инноваций с учетом сфер деятельности предприятия. Согласно этому признаку инновации подразделяются на:

- технологические;
- производственные;
- экономические;
- торговые;
- социальные.

Способность социальных инновационных решений адаптироваться к различным секторам, таким, как среда обитания, безработица, питание и энергия, оправдывает их различный плюралистический характер и подкрепляет их комплексный подход к действию [1].

Однако независимо от сектора, процесс остается неизменным с четырьмя фундаментальными шагами:

- разработка теоретических и практических проектов;
- экспериментальное тестирование;
- развертывание;
- оценка воздействия.

Социальные инновации, применяемые в энергетическом секторе, позволяют предлагать альтернативные модели развития и активизировать участие наиболее заинтересованных сторон, а именно местного населения и конечных пользователей.

Социальные инновации в энергоменеджменте определяются и описаны с различных научных позиций. Например, Мехмуд и Парра [13] принимают перспективу процесса и считают, что это «генерация и внедрение новых идей, которые мотивированы целью удовлетворения социальных потребностей». Янг [16] исследует социальные инновации с точки зрения ее выпуска и предполагает, что цель социальных инноваций заключается в повышении благосостояния людей, которые ее принимают. Социальные инновации являются синонимом социального предпринимательства, и оно изучается различными дисциплинами. Несмотря на это понятие «управление проектами социальных инноваций» по-прежнему недостаточно активно внедряется на практике.

Анализ отечественной и зарубежной литературы [2, 4, 6, 7] демонстрирует, что социальные инновационные проекты во многом отличаются от традиционных отраслевых проектов. Так, согласно Мюррею работа над социальными инновациями «отличается своими результатами и отношениями», тогда как Меринеро-Родригез Р., Пулидо-Фернандез Ж. говорят о структурной смежности социальных инновационных и отраслевых проектов. Авторы Соколов Д.С., Полуянова М.С. отмечают разность не только целевых ориентиров проектов, но и отличия в механизме их исполнения, как и Ферр Н. [8], который обращает внимание на различия инструментов реализации социальных инновационных проектов. Н.А. Чернышева акцентирует внимание на концептуально новой социально-инновационной политике, реализуемой посредством внедрения социальных инновационных проектов.

Для энергетических предприятий существующий потенциал в рамках позитивных изменений значительно выше, нежели в иных сферах хозяйствования, так как отрасль электроэнергетики представляет собой инструментальный комплекс, посредством которого формируется образ жизни современного человека. Практически невозможно представить себе день без применения в том или ином виде электрической энергии (во всех сферах и отраслях жизнедеятельности человечества: быт, транспорт, производство, сельское хозяйство, наука, культура и прочее), спектр использования которой с каждым годом расширяется [15].

По данным Росстат (Инновационные перспективы России, 2016), к 2020 году 56% населения мира будет жить в городских районах и к 2025 году будет более 26 интеллектуальных городов по всему миру. Благодаря уникальным платформам совместного создания бизнес объединяет мыслителей и исполнителей, чтобы ускорить социальные инновации, работать умнее, быстрее и креативнее, чем в прошлом.

В энергетическом секторе социальные потребности остаются обширными и препятствуют многим в стремлении обеспечить справедливый, универсальный и устойчивый доступ к энергии. Цель социальных инноваций – объединить положительную синергию большого числа участников с помощью местного опыта, одновременно преодолевая недостатки правительства и действия на рынке [9]. Социальные инновации в области энергетики также адаптированы для работы в очень небольших масштабах.

Социальные инновации, применяемые в энергетическом секторе, позволяют предлагать альтернативные модели развития и более активное участие заинтересованных субъектов, местного населения и пользователей, однако в инновациях данного типа существует ряд особенностей [14].

В исследованиях энергии часто не уделяется внимания социальным и поведенческим аспектам энергетических систем. Данные факторы рассматриваются отдельно от технических исследований или применяются только на поздней стадии технологического развития. Кроме того, новые энергетические технологии часто не принимаются или плохо принимаются, и потенциальным пользователям трудно адаптировать свое поведение, когда это необходимо для принятия и оптимального использования [11].

Другая особенность связанна с сопротивлением энергетическим инновациям, например, должностных лиц в промышленности, государственных органов, традиционных поставщиков энергии или местных сообществ, которые воспринимают эти инновации как разрушительные или даже угрожающие и стремятся замедлить их разработку.

Для решения данных недостатков необходимо отображать и анализировать социальные и поведенческие барьеры для энергетических инноваций. Кроме того, важно исследовать и тестировать, в каких условиях инновации в социальных и поведенческих измерениях могут помочь решить вышеупомянутые проблемы [12].

Ученым из различных областей науки следует обсудить преимущества и недостатки сочетания технологических и социальных инноваций, попытаться ответить на вопрос о том, как понимание технических, социальных и поведенческих наук может способствовать внедрению социальных инноваций (будь то поведенческие стимулы, новые социальные структуры, формы организации, новые бизнес-модели, институциональные инновации, новые механизмы управления или инновации в области политики).

Процесс разработки и осуществления данных проектов, по сути, является совместным и способствует объединению сил и навыков в проектах, которые часто требуют среднесрочных или долгосрочных обязательств. Местное закрепление проектов и действующих лиц, контролирующих их, также позволяет считаться со спецификой соответствующей отрасли [3].

Заключение

Социальные инновации необходимы для городов, сообществ и компаний, которые хотят по-настоящему обеспечить интегрированное и устойчивое энергетическое видение на будущее, понимая проблемы, с которыми сталкиваются сегодня, и предлагая как дополнительные, так и радикальные инновации для их решения.

Области, которые выиграют от таких нововведений, следующие:

- выбросы и загрязнение воздуха, вызванные выработкой электроэнергии;
- доступ к электроэнергии для отдаленных или развивающихся регионов;
- эффективность энергосетей, усиленных автоматическим и автономным контролем;
- экологические и экономические издержки для предприятий.

Социальные инновации дают возможность связать несколько инициатив по улучшению жизни общества и повышению качества жизни человека. В скором будущем применение интегрированных и интеллектуальных решений для энергетики с менее централизованным и более ориентированным на клиента подходом – автоматизированный и автономный контроль и управление энергетическими сетями – станет обычным делом вплоть до все более активной роли подключенного человека.

ЛИТЕРАТУРА

1 Балабанов И.Т. Инновационный менеджмент. СПб: Питер, 2015. 304 с.

2 Бубенчиков А.А., Нурахмет Е.Е., Молодых В.О., Руденок А.И. Солнечная энергия как источник электрической энергии // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 5(47), 59–62.

3 Гасанов Э.А. Принципы инновационной конверсии экономики. Хабаровск: Хабаровский государственный университет экономики и права, 2016. 120 с.

4 Корецкая Л.К., Губернаторов А.М. Исследование процесса управления инновационным развитием в экономике. М.: Русайнс, 2017. 274 с.

5 Пугачев Н.С. Открытые инновации // Молодой ученый. 2013. № 6. С. 403–407. URL: https://moluch.ru/archive/53/7001/

6 Соколов Д.С., Полуянова М.С., Киселёв Г.Ю. Инновации в электроэнергетике // Молодой ученый. 2017. № 22. С. 76–80.

7 Тюнюкова Е.В., Полунина С.Ю. Стратегические решения в инновационном развитии // Вопросы новой экономики. 2018. № 2. С. 15–19.

8 Ферр Н. Даер Дж., Кристенсен К.М. Создавая инновации: креативные методы от Netflix, Amazon и Google. Москва: Эксмо, 2018. 301 с.

9 Чернышева Н.А. Базовые теории индустриализации и концепция новой социально-инновационной политики // РИСК (Ресурсы. Информация. Снабжение. Конкуренция). 2018. № 1. С. 51–55.

10 Шумпетер Й. Теория экономического развития (Исследование предпринимательской прибыли, капитала, кредита, процента и цикла конъюнктуры). М.: Прогресс, 1982.

11 Hernandez Ya., Cormican K. Towards the Effective Management of Social Innovation Projects: Insights from Project Management // Procedia Computer Science. 2016. V. 100, P. 237-243.

12 Manzini E. Design, when everybody designs: an introduction to design for social innovation. Massachusetts: Cambridge,The MIT Press, 2015.

13 Mehmood A., Parra C. Social innovation in an unsustainable world. The international handbook on social innovation: collective action, social learning and transdisciplinary research. Edward Elgar Publishing, 2013.

14 Merinero-Rodríguez R., Pulido-Fernández J.I. Analysing relationships in tourism: A review // Tourism Management. 2016.

15 Salim S.B., Ellingstad P. Social innovation model for business performance and innovation // International Journal of Productivity and Performance Management. 2016.

16 Young H.P. The dynamics of social innovation // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2011.

REFERENCES

1 Balabanov I.T. Innovacionnyj menedzhment [Innovative management]. St. Petersburg, Peter, 2015. 304 p. (in Russian)

2 Bubenchikov A.A., Nurakhmet E.E., Molodykh V.O., Rudenok A.I. Solar energy as a source of electrical energy. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal* [International Scientific and Research Journal]. 2016. no. 5 (47), pp. 59–62. (in Russian)

3 Gasanov E.A. Principy innovacionnoj konversii ehkonomiki [Principles of innovative economy conversion]. Khabarovsk, Khabarovsk State University of Economics and Law, 2016. 120 p. (in Russian)

4 Koretskaya L.K., Governors A.M. Issledovanie processa upravleniya innovacionnym razvitiem v ehkonomike [Investigation of the process of managing innovative development in the economy]. Moscow, Rusyns, 2017. 274 p. (in Russian)

5 Pugachev N.S. Open Innovations. *Molodoj uchenyj* [Young Scientist]. 2013. no. 6. pp. 403–407. Available at: https://moluch.ru/archive/53/7001/ (in Russian)

6 Sokolov D.S., Poluyanova M.S., Kiselev G. Yu. Innovations in the Electric Power Industry. *Molodoj uchenyj* [Young Scientist]. 2017. no. 22. pp. 76–80. (in Russian)

7 Tyunyukova E.V., Polunina S.Yu. Strategic solutions in innovative development. *Voprosy novoj ehkonomiki* [Questions of the new economy]. 2018. no. 2. pp. 15–19. (in Russian)

8 Ferr N., Daer J., Creestensen C.M. Sozdavaya innovacii: kreativnye metody ot Netflix, Amazon i Google [Creating Innovations: Creative Techniques from Netflix, Amazon and Google]. Moscow, Eksmo, 2018. 301 p. (in Russian)

9 Chernysheva N.A. Basic theories of industrialization and the concept of a new social and innovation policy. *RISK (Resursy. Informaciya. Snabzhenie. Konku-renciya)* [RISK (Resources, Information, Supply, Competition)]. 2018. no. 1. pp. 51–55. (in Russian)

10 Schumpeter J. Teoriya ehkonomicheskogo razvitiya (Issledovanie predprinimatel'skoj pribyli, kapitala, kredita, procenta i cikla kon"yunktury) [The theory of economic development (Study of entrepreneurial profit, capital, credit, price and cycle of conjuncture)] Moscow, Progress, 1982. (in Russian)

11 Hernandez Ya., Cormican K. Towards the Effective Management of Social Innovation Projects: Insights from Project Management. Procedia Com-puter Science. 2016. vol. 100, pp. 237-243.

12 Manzini E. Design, when everybody de-signs: an introduction to design for social innovation. Massachusetts, Cambridge,The MIT Press, 2015.

13 Mehmood A, Parra C. Social innovation in an unsustainable world. The international handbook on social innovation: collective action, social learning and transdisciplinary research. Edward Elgar Publishing, 2013.

14 Merinero-Rodríguez R., Pulido-Fernández J.I. Analysing relationships in tourism: A review. Tourism Management. 2016.

15 Salim S.B., Ellingstad P. Social innovation model for business performance and innovation. International Journal of Productivity and Performance Management. 2016.

16 Young H.P. The dynamics of social innovation. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2011.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Галина С. Армашова-Тельник к.э.н., доцент, кафедра программно-целевого управления в приборостроении, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, ул. Большая Морская, 67, г. Санкт-Петербург, 190000, Россия, atgs@yandex.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Galina S. Armashova-Telnik Cand. Sci. (Econ.), associate professor, Program and Target Management in Instrumentation Department, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Bolshaya Morskaya str., 67, St. Petersburg, Russia, 190000, Russia, atgs@yandex.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Галина С. Армашова-Тельник написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

CONTRIBUTION

Galina S. Armashova-Telnik wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST

The author declares no conflict of interest.

ПОСТУПИЛА 24.04.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 20.08.2018

RECEIVED 4.24.2018

ACCEPTED 8.20.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 631.153: 658.14

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-417-425

Выявление и оценка влияния факторов неопределенности на деятельность аграрного предприятия

Татьяна В. Сабетова [1] tsabetova@mail.ru

[1] Воронежский ГАУ, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия

Аннотация. Статья посвящена проблеме выявления степени влияния факторов неопределенности на показатели деятельности аграрного предприятия. Неопределенность и риск являются неотъемлемой частью деловой жизни, а в сельском хозяйстве они тем более высоки, так как аграрные компании в существенной степени зависят от влияния природных факторов и явлений. Следовательно, оценка направлений и силы воздействия факторов риска имеет большое значение для проектирования деятельности компании. После проведения схематичного факторного анализа финансовых результатов аграрного предприятия, автор выбрал такие параметры, как урожайность культур и средняя цена реализации, для анализа степени воздействия неопределенных факторов. Так как на оба избранных параметра влияет большое количество как определенных, так и не поддающихся влиянию менеджмента компании факторов, автор считает неприемлемым применение к ним факторного анализа. В первую очередь, автор обосновывает это сложностью определения весов каждого воздействующего фактора. Вместо этого автор предлагает группировать все факторы по признаку их определенности и выявлять степень влияния каждой из групп. Для этого была проанализирована колеблемость каждого параметра в разных рядах: за несколько лет в одном предприятии и за один год в ряде схожих предприятий. Было выявлено, что колебания урожайности по предприятиям оказались выше, чем по годам. Из этого сделан вывод о существенно большем влиянии определенных факторов на этот показатель. С другой стороны, при анализе цен выявилась обратная ситуация: здесь влияние неопределенных факторов гораздо сильнее. В результате внесено предложение использовать при таком способе проектирования дальнейшей работы, как экономико-математическое моделирование, данные не только фирмы-объекта, но и схожих предприятий, доступные в областном Управлении сельского хозяйства. При этом точность прогноза будет существенно выше, к тому же он может быть разработан в 3 или 5 вероятностных сценариях.

Ключевые слова: риск, неопределенность, факторы, урожайность, цена, факторный анализ, колебания

Identification and evaluation of the impact of uncertainty factors on the activities of agricultural enterprises

Tatiana V. Sabetova [1] tsabetova@mail.ru

[1] Voronezh State Agricultural University, Michurina str. 1, Voronezh, 394087, Russia

Abstract. The article considers t the problem of determination of the degree of influence of uncertainty factors on the performance of an agricultural enterprise. Uncertainty and risk are an integral part of business life, and in agriculture they are all the more significant, since agricultural companies are greatly dependent on the influence of natural factors and phenomena. Consequently, the assessment of the directions and the strength of the impact of risk factors is of great importance for the plans and projects for the company's activities. After carrying out a schematic factor analysis of the financial results of the agricultural enterprise, the author selected parameters such as crop yields and average selling price, for analyzing the degree of exposure to uncertain factors. Since both the selected parameters are affected by a large number of both certain factors and factors uncontrollable for the company's management, the author finds it unacceptable to apply factor analysis to them. In the first place, the author justifies this by the difficulty in determining the weights of each influencing factor. Instead, the author suggests grouping all the factors on the basis of their certainty and definition of the influence degree for each group. For this purpose, the variability of each parameter in different series was analyzed: for several years in one enterprise and for one year in a number of similar enterprises. It was found that fluctuations in crop yields by enterprises were higher than by years. This forced the author to bring out the conclusion that there is a significantly greater influence of certain factors on this indicator. On the other hand, when analyzing prices, the opposite situation emerged: here the influence of uncertain factors is much stronger. As a result, the proposal was made for the projecting method, such as economic and mathematical modeling, to use the data from both the firm being the subject of modeling, and from the similar enterprises available from the regional Department of Agriculture. In this case, the accuracy of the forecast will be much higher, besides, it can be developed in 3 or 5 probability scenarios.

Keywords: risk, uncertainty, factors, crop yield, price, factor analysis, fluctuations

Введение

Разработка управленческих решений представляет собой один из труднейших и наиболее творческих процессов во всем управленческом труде. Повышение эффективности их разработки и реализации невозможно без глубокого понимания сложившейся ситуации во внешней и внутренней среде организации, а также знания особенностей лиц, принимающих и исполняющих эти решения [2]. Та особенность, что на современных предприятиях чаще всего разрабатывают управленческие решения одни должностные лица (специалисты), принимаю другие (руководители) и исполняют третьи (рабочие и служащие), еще более усложняет процедуру и качество на всех этапах. В современном менеджменте признана и широко используется теория процедурной рациональности, технологические и процедурные основы которой способствуют принятию обоснованных и эффективных решений. С другой стороны,

Для цитирования

Сабетова Т.В. Выявление и оценка влияния факторов неопределенности на деятельность аграрного предприятия // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 417–425. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-417-425

For citation

Sabetova T.V. Identification and evaluation of the impact of uncertainty factors on the activities of agricultural enterprises. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 417–425. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-417-425

несоблюдение теории процедурной рациональности может порождать ряд трудностей, вплоть до резкого снижения экономической эффективности и конкурентоспособности бизнес-единиц и их стратегических зон хозяйствования и в результате – замедления на микро-, мезо- и макроуровне [7]. Поэтому глубокое изучение методики и процедуры принятия управленческих решений на предприятиях и в организациях важно и с теоретической, и с сугубо практической точки для развития методических положений по обеспечению эффективности принятия управленческих решений и для обеспечения контролируемости их исполнения с количественных и качественных позиций.

В реальных условиях ведения бизнеса достижение одной и той же цели допустимо несколькими путями, различающимися не только в плане конкретных действий, но и эффективности, понимаемой как соотношение результата и затрат (вложенных усилий и ресурсов). Таким образом, одни из них представляются более привлекательными, другие менее привлекательными. Существование разнообразия вариантов действий для достижения цели связано с влиянием множества разнообразных и зачастую сложным образом взаимосвязанных условий и факторов в производственной, коммерческой и финансовой деятельности [11].

В сельскохозяйственном секторе экономики для эффективного решения производственных задач и достижения целей рационального использования природных, человеческих, финансовых и иных ресурсов необходим системный подход, базирующийся на использовании методов математического моделирования и современных ПЭВМ [3, 10]. Корректная работа модели и ее полезность для практической деятельности, однако, возможна лишь при ее правильном построении, которое требует применения в ней поправок на влияние факторов неопределенности и риска, влияющих на работу моделируемого объекта.

Развитие любой экономической системы происходит в условиях влияния факторов риска и неопределенности, учет которых критически важен при разработке и обосновании управленческих решений, особенно долгосрочного и стратегического порядка. С другой стороны, многие параметры работы таких систем одновременно подвержены воздействию целого ряда факторов, часть из которых определенны и стабильны либо имеют устойчивые тренды изменений, что делает их прогнозирование высокоточным. Другая часть факторов полностью либо в существенной степени контролируется действиями самой системы, например, руководством предприятия либо муниципального образования, и такое воздействие можно достаточно эффективно планировать. Часть же факторов не отличается ни стабильностью, ни даже предсказуемостью. Проведение полноценного факторного анализа для каждого показателя работы социально-экономической системы зачастую затруднено, однако выявление степени контролируемости показателя остается важной задачей для стратегического управления им. На совершенствование методики такого выявления и была направлена наша работа.

Постановка проблемы

Мы провели анализ рисков и неопределенности в деятельности аграрных предприятий Верхнехавского района в целом и ООО МТС «Агросервис» в частности. По его результатам выяснилось, что среди наиболее подверженных неопределенности показателей деятельности выступают урожайность (так как хозяйство является полностью растениеводческим) и цена реализации продукции. Схема влияния этих показателей на результирующие финансово-экономические показатели деятельности предприятия представлена на рисунке 1 [1, 9].

Проведенный факторный анализ визуально представляет зоны вхождения влияния показателей, частично или полностью являющихся неопределенными, на результаты деятельности предприятия.

Доступные нам, равно как и большинству сторонних для компании исследователей, данные не позволяют глубоко изучить все факторы и параметры закупочных цен на приобретаемые предприятием для обеспечения своей деятельности сырье и материалы, а также основные средства. Однако степень контролируемости двух других параметров в схеме факторного анализа мы можем рассмотреть и оценить количественно.

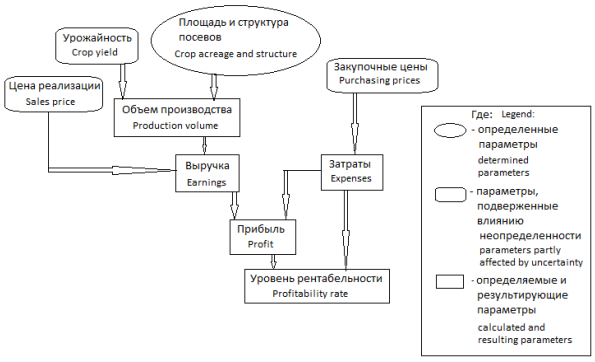


Рисунок 1. Схема влияния неопределенности на показатели прибыли и рентабельности

Figure 1. Scheme of uncertainty impact on profit and profitability indicators

Взятая для примера аграрная компания продает сравнительно широкий ассортимент культур. Структура выручки от реализации продукции растениеводства за 2017 год представлена на рисунке 2.

Можно отметить, что доли сахарной свеклы, пшеницы и подсолнечника в 2017 году были существенно выше, чем доли остальных культур. Мы предлагаем рассмотреть влияние урожайности и цены реализации на результаты деятельности и принятие управленческих решений именно на примере двух культур с максимальной долей в структуре выручки: пшеницы и сахарной свеклы.

Прежде всего, рассмотрим факторы, влияющие на урожайность культур. Не перечисляя их все и не оценивая степень влияния каждого из них, мы считаем более правильным просто разделить их по двум показателям: с одной стороны, на устойчивые и изменчивые, а с другой стороны, на контролируемые руководством предприятия и неподконтрольные ему (таблица 1).

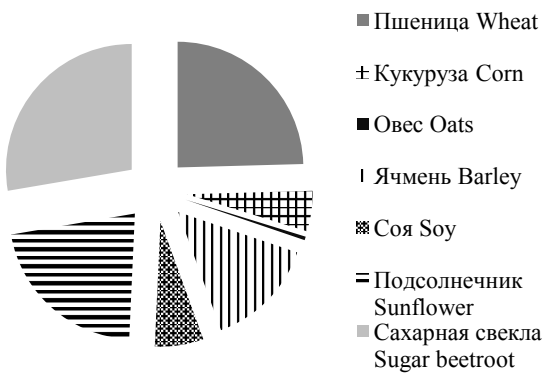


Рисунок 2. Структура выручки от реализации продукции растениеводства ООО МТС «Агросервис» за 2017 год

Figure 2. Structure of revenue from sales of crop products of MTS Agroservice LLC for 2017

Таблица 1.

Факторы, определяющие урожайность культур

Table 1.

Factors determining crop yields

		Контроль со стороны предприятия | Company's control	
		Нет | No	Есть | Yes
Изменчивость | Variability	Есть | Yes	Погодные условия конкретного периода | Weather conditions of a certain period Природные и техногенные катастрофы и другие чрезвычайные явления | Natural and industrial disasters and other emergencies	Болезни и вредители | Diseases and pests Плодородие почв (контроль частичный за счет внесения удобрений и др. мероприятий) | Soil fertility (partial control by means of fertilizers and other methods) Проведение агротехнических мероприятий | Agro-engineering methods
	Нет | No	Физико-географические условия (например, рельеф, продолжительность светового дня) | Physical-geographical conditions (such as relief, daylight duration) Экономико-географические условия (расстояние до потребителей и поставщиков, транспортная инфраструктура) | Economic- geographical conditions (distance to the consumers and suppliers, transport infrastructure)	Сортовые и видовые характеристики (культуры и сорта выбирает предприятие) | Variety and species characteristics (though the crops and varieties are selected by the company)

Можно указать, что достаточно значительная часть приведенных для примера факторов неподконтрольна предприятию, и единственное, что руководство может сделать для достижения наилучших результатов работы, – это их адекватное принятие во внимание при принятии решений. Естественно, учитывать при планировании деятельности факторы, остающиеся неизменными на продолжительных интервалах времени, существенно проще, однако требуется принимать во внимание и те условия, которые могут меняться в каждом производственном цикле и даже на разных его отрезках.

Контролируемые предприятием параметры способны в определенной степени скомпенсировать влияние неконтролируемых факторов, так как все перечисленные условия действуют на результат в совокупности.

Оценка влияния факторов неопределенности на урожайность

Обоснованное принятие управленческих решений затруднительно без глубокого понимания степени влияния каждого из воздействующих факторов, в том числе неопределенных, на конечный результат [4]. Однако индивидуальное рассмотрение факторов, показанных в таблице 1,

проблематично по двум причинам. Во-первых, не по всем из них возможно собрать корректную количественную информацию как в рамках нашего исследования, так и вообще. Во-вторых, потребуется определить весовые значения для факторного анализа урожайности, то есть прибегнуть как минимум к экспертным оценкам, точность которых также может вызывать вопросы. Однако мы предложили сравнительно простой способ определения степени влияния факторов в составе двух групп: контролируемых предприятием, неподконтрольных его руководству и меняющихся от одного производственного цикла (в данном случае года, так как анализируется отрасль растениеводства). Для этого мы рассмотрели и сопоставили динамику урожайности выбранных нами культур за изучаемый период как в рассматриваемом нами хозяйстве, так и в соседних, работа которых протекает в практически аналогичных внешних условиях.

Сравнение динамики урожайности озимой пшеницы представлено в таблице 2.

Таблица 2.

Динамика урожайности пшеницы в хозяйствах Верхнехавского района, ц/га

Table 2.

Dynamics of wheat yield in farms of Verkhnekhavsky district, c/ha

Предприятие | Company	Годы | Years					В среднем за 5 лет | 5-year average	Среднеквадратическое отклонение | Mean square deviation
	2013	2014	2015	2016	2017		
ООО МТС «Агросервис» | MTS Agroservice LLC	45,3	53,1	46,3	40,8	60,2	49,1	6,8
ООО «Золотая Нива» | Zolotaya Niva LLC	27,1	29,5	26,9	35,7	41,5	32,1	5,7
ООО «Луч» | Luch LLC	37,7	32,8	35,2	33,1	36,7	35,1	1,9
ООО «Сатурн» | Saturn LLC	40,0	36,6	28,0	31,5	38,0	34,8	4,4
ООО «Костин и К» | Kostin &K LLC	45,0	27,2	28,6	-	-	33,6	8,1
ООО «Луговатское» | Lugovatskoye LLC	40,0	40,5	33,5	33,0	42,1	37,8	3,8
ООО «Овощ-Прод-Холдинг» | Ovosch-Prod-Holding LLC	57,1	48,4	24,5	48,4	59,8	47,6	12,4
В среднем по району | District average	41,7	38,3	31,9	37,1	46,4	38,6	4,9
Среднеквадратическое отклонение | Mean square deviation	8,4	8,9	14,9	8,8	9,8	6,4	-

Существует несколько показателей, позволяющих оценить степень разброса величин в каждом ряду. Мы выбрали один из самых простых – среднеквадратическое отклонение. Наблюдаемый разброс колебаний по годам в одном и том же хозяйстве (столбец «Среднеквадратическое отклонение») оказался существенно меньшим, чем разброс среди хозяйств района в одном и том же году (строка «Среднеквадратическое отклонение»). Среднеквадратическое отклонение для среднегодовой урожайности в разных хозяйствах составило 6,4, тогда как средней по хозяйству за разные годы – только 4,9. Эти расчеты позволили нам заключить, что влияние мероприятий, предпринимаемых хозяйством для обеспечения желаемого, планируемого уровня урожайности, не дает абсолютных гарантий результата, однако определяет его в весьма значительной степени, смягчая искажающее воздействие неконтролируемых факторов. В данном случае можно утверждать, что исследование динамических рядов колебаний урожайности озимой пшеницы подтверждает это соображение.

Аналогичной методикой мы воспользовались и для оценки влияния двух групп факторов на урожайность сахарной свеклы (таблица 3). В Верхнехавском районе только два предприятия выращивают сахарную свеклу, что недостаточно для статистического наблюдения [5]. Поэтому мы были вынуждены провести сравнение данного показателя в близлежащих и сходных по географическим условиям районах: Панинском, Новоусманском и Эртильском. В первом сахарная свекла не выращивается, в Новоусманском представлено одно хозяйство, по Эртильскому району для примера взяты три крупнейших производителя.

Таблица 3.

Динамика урожайности сахарной свеклы в хозяйствах Верхнехавского и соседних с ним районов, ц/га

Table 3.

Dynamics of productivity of sugar beet in farms of Verkhnekhavsky and adjacent areas, c/ha

Предприятие | Company	Годы | Years					В среднем за 5 лет | 5-year average	Среднеквадратическое отклонение | Mean square deviation
	2013	2014	2015	2016	2017		
ООО МТС «Агросервис» | MTS Agroservice LLC	–	359,1	487,1	551,5	562,2	490,0	80,8
ООО «Луч» | Luch LLC	455,4	416,6	359,1	454,2	480,9	433,2	42,4
ООО «Логус-агро» | Logus-agro LLC	664,8	393,4	396,0	658,7	671,8	556,9	132,5
ООО «Агротех-Гарант Ростошинский» | Agrotech-Garant Rostoshinskiy LLC	524,2	461,7	552,6	606,1	603,9	549,7	53,9
ООО «Агрокультура «Эртиль» | Agrocultura Ertil LLC	479,4	472,6	494,8	421,2	450,5	463,7	25,6
ЗАО СХП «Виктория» | SHP Viktoria LLC	357,7	251,3	339,5	471,6	421,1	368,2	75,0
В среднем по всем | Average among companies	496,3	392,5	438,2	527,2	531,7	477,0	53,9
Среднеквадратическое отклонение | Mean square deviation	100,3	74,0	78,0	85,4	88,7	65,5	–

Данные таблицы 3 подтверждают выявленную на примере пшеницы закономерность, хотя она выражена не так очевидно: расхождения в урожайности сахарной свеклы между хозяйствами остаются более существенными, чем по годам.

Такие расчеты подтверждают наш вывод о существенном влиянии агротехнических и иных мер, предпринимаемых предприятием, на урожайность культур. Мы провели аналогичные расчеты еще по двум культурам, и в той или иной мере везде наблюдалась аналогичная закономерность. Отсюда можно говорить о важности активизации деятельности любого аграрного предприятия по обеспечению планируемого уровня урожайности культур. Одновременно такая работа выступает и инструментом управления рисками, ущербом по которым выступает недополучение урожаев.

Оценка влияния факторов неопределенности на цену реализации

Аналогичная методика применима в принципе к любому результирующему показателю, если он зависит от указанных двух факторов: подконтрольных предприятию и факторов риска и неопределенности. Мы применили ее для выяснения степени контроля предприятия над ценой реализации товаров как еще одного показателя, частично контролируемого и частично неопределенного. Данная величина в целом отличается существенной волатильностью и зависит от множества факторов. Среди них довольно мало таких, которые могут считаться устойчивыми на длительных временных отрезках [6, 8]. Поэтому мы не сочли возможным строить для факторного анализа цены матрицу с четырьмя ячейками, аналогичную таблице 1. Напротив, все воздействующие на нее факторы мы напрямую разбили всего на две группы: подконтрольные предприятию (хотя чаще всего здесь имеет место частичный контроль) и находящиеся за пределами его влияния.

К первой группе можно отнести ассортимент продукции, причем в сельском хозяйстве следует разделять ассортимент производимой и товарной продукции; параметры качества; объемы сбыта; используемые каналы реализации; выбор конкретных организаций-покупателей; выбор момента поставки с учетом сезонности производства; себестоимость производства и коммерческие расходы.

Во второй группе мы рассмотрели такие факторы, как: макро- и мезоэкономическая ситуация; прогнозы конъюнктуры рынка; ожидания потребителей; государственное вмешательство в отраслевой рынок; географически доступный рыночный сегмент и его характеристики.

В данном случае мы снова ставим своей задачей оценить не столько влияние каждого отдельного фактора из всей массы, сколько каждой из выделенных групп.

Для достижения этой цели мы проанализировали динамику цен по тем же видам продукции и тем же предприятиям, что были изучены при оценке динамики урожайности. В таблице 4 представлена динамика цен на пшеницу в Верхнехавском районе.

Таблица 4.

Динамика цены реализации пшеницы хозяйствами Верхнехавского района, руб./ц

Table 4.

Dynamics of the price of wheat farms Verkhnekhavsky district, RUB/c

Предприятие | Company	Годы | Years					В среднем за 5 лет | 5-year average	Среднеквадратическое отклонение | Mean square deviation
	2013	2014	2015	2016	2017		
ООО МТС «Агросервис» | MTS Agroservice LLC	510,1	568,6	820,1	1031,8	604,8	707,1	193,2
ООО «Золотая Нива» | Zolotaya Niva LLC	547,4	480,1	741,1	839,2	617,3	645,0	129,9
ООО «Луч» | Luch LLC	642,8	802,9	896,1	821,9	631,0	758,9	104,5
ООО «Сатурн» | Saturn LLC	544,5	554,7	695,9	933,5	685,6	682,8	140,4
ООО «Костин и К» | Kostin &K LLC	544,6	569,4	-	548,6	591,1	563,4	18,5
ООО «Луговатское» | Lugovatskoye LLC	600,0	674,0	847,1	813,7	543,2	695,6	118,1
ООО «Овощ-Прод-Холдинг» | Ovosch-Prod-Holding LLC	516,3	591,2	800,7	715,3	690,4	662,8	99,1
В среднем по району | District average	558,0	605,8	800,2	814,9	623,3	673,7	106,1
Среднеквадратическое отклонение | Mean square deviation	43,9	96,2	66,0	142,7	48,2	56,1	-

Как и предполагалось нами на основании количества и значимости факторов неопределенности, влияющих на цену, данные таблицы 4 указывают на более существенную вариабельность цены реализации пшеницы по годам, чем по предприятиям в рамках одного года. Это позволяет утверждать, что влияние внешних неподконтрольных предприятию факторов на цену гораздо сильнее и его нелегко смягчить действиями руководства предприятия.

Вновь применение методики было повторено для сахарной свеклы (таблица 5) и двум другим культурам. Средние цены вычислены на исследуемой выборке, а не в целом по трем районам.

Таблица 5.

Динамика цены реализации сахарной свеклы хозяйствами Верхнехавского и соседних районов, руб./ц

Table 5.

Dynamics of sales price of sugar beet farms Verkhnekhavsky and neighboring areas, RUB/c

Предприятие | Company	Годы | Years					В среднем за 5 лет | 5-year average	Среднеквадратическое отклонение | Mean square deviation
	2013	2014	2015	2016	2017		
ООО МТС «Агросервис» | MTS Agroservice LLC	–	179,7	297,3	253,6	160,2	222,7	55,4
ООО «Луч» | Luch LLC	161,6	159,2	177,9	191,1	151,9	168,3	14,2
ООО «Логус-агро» | Logus-agro LLC	163,5	182,4	283,7	251,0	212,7	218,7	44,0
ООО «Агротех-Гарант Ростошинский» | Agrotech-Garant Rostoshinskiy LLC	138,4	204,2	312,2	293,9	268,0	243,3	64,0
ООО «Агрокультура «Эртиль» | Agrocultura Ertil LLC	149,9	192,1	299,7	259,9	230,5	226,4	52,0
ЗАО СХП «Виктория» | SHP Viktoria LLC	150,2	228,8	311,3	279,4	235,7	241,1	54,5
В среднем по всем | Average among companies	152,7	191,1	280,4	254,8	209,8	217,8	45,4
Среднеквадратическое отклонение | Mean square deviation	9,1	21,7	46,8	32,2	41,4	24,9	–

И по свекле, и по двум другим культурам мы выявили аналогичную ситуацию, как и по ценам на пшеницу. Влияние неконтролируемых факторов риска и неопределенности оказывается существенно сильнее усилий предприятий по их минимизации и смягчению.

Из всего вышесказанного можно сделать следующие выводы.

1. Все показатели работы аграрного предприятия, включая параметры экономической эффективности и финансовой устойчивости, в большей или меньшей степени оказываются под воздействием факторов риска, то есть таких, которые изменяются во времени и неподконтрольны руководству предприятия.

2. Мы подробно изучили два показателя, на которые частично воздействуют такие фактора, как урожайность выращиваемых культур и цена реализации продукции. Примеры четырех культур, в том числе двух, формирующих основу выручки предприятия – основного объекта исследования, показали, что на урожайность в большей степени влияют контролируемые факторы, а на цену реализации сильнее воздействуют факторы риска.

3.Исходя из этого можно утверждать, что при планировании производства и принятии управленческих решений важно прилагать максимум усилий, для роста или стабилизации урожайности на желаемом уровне и смягчения влияния на нее неконтролируемых факторов.

4. Что касается сбытовой сферы предприятия, усилия руководства здесь дают гораздо меньший эффект. Поэтому вместо маркетинговых усилий, в частности, по поиску наиболее эффективных каналов реализации, планированию ассортимента, продвижению продукции, достаточно учитывать при планировании возможные пределы ценовой волатильности и создавать резервы для ее компенсации.

Применению указанных рекомендаций в планировании производства и сбыта аграрной продукции может способствовать экономико-математическое моделирование процессов на предприятии, причем модели обязательно должны учитывать фактор волатильности цен реализации продукции и разрабатываться как минимум в трех сценариях.

Формирование вариантов для экономико-математического моделирования развития предприятий в условиях неопределенности

Предприятиям аграрной сферы Воронежской области доступна информация о других хозяйствах со стороны Управления сельского хозяйства области и со стороны различных информационных сайтов по вопросам состояния и динамики развития сельского хозяйства области. Следовательно, они могут отобрать и проанализировать работу других компаний, производящих аналогичный продуктовый ассортимент в схожих природных и социально-экономических условиях. Исходя из этого можно предложить строить модели с применением данных как самого хозяйства – объекта моделирования, так и информации по другим предприятиям района и области [5].

Мы предлагаем следующие комплекты вариантов формирования моделей.

1. Основанные только на использовании собственных данных предприятия – объекта моделирования:

— оптимистический: лучшие показатели предприятия за последние 5–7 лет;

— пессимистический: худшие показатели предприятия за последние 5–7 лет;

— наиболее вероятный: средневзвешенные показатели предприятия за последние 5–7 лет.

2. Основанные на применении данных предприятия – объекта и района его расположения:

— оптимистический: лучшие показатели среди предприятий района;

— пессимистический: худшие показатели среди предприятий района;

— наиболее вероятный: средневзвешенные показатели предприятия за последние 5–7 лет.

Более того, именно этот вариант мы рекомендуем расширить до пяти сценариев: оптимистический район, оптимистическое хозяйство (то, что рассмотрено выше как «оптимистический»), наиболее вероятный, пессимистическое хозяйство (рассмотрено выше как «пессимистический»), пессимистический район. В данном случае для определения наиболее вероятного сценария можно использовать средневзвешенные показатели района или среднюю величину между предприятием и районом в целом.

3. Основанные на динамических ожиданиях:

— оптимистический: лучшие показатели предприятия за последние 5–7 лет с поправками на осуществляемые усилия (обычно +5–7%, но не более лучших показателей по району);

— пессимистический: худшие показатели предприятия за последние 5–7 лет с поправками на осуществляемые усилия (обычно +5–7%, но не ниже средних показателей по району за самый неудачный по анализируемому показателю год);

— наиболее вероятный: средневзвешенные показатели предприятия за последние 5–7 лет с поправками на осуществляемые усилия (обычно +5–7%, но не ниже средних показателей по району).

Принятие управленческих решений с учетом природно-экономических условий и рыночной конъюнктуры, в которых действует ООО МТС «Агросервис» и другие аналогичные предприятия – сельскохозяйственные товаропроизводители Воронежской области, требует обоснования по схеме, представленной на рисунке 3.

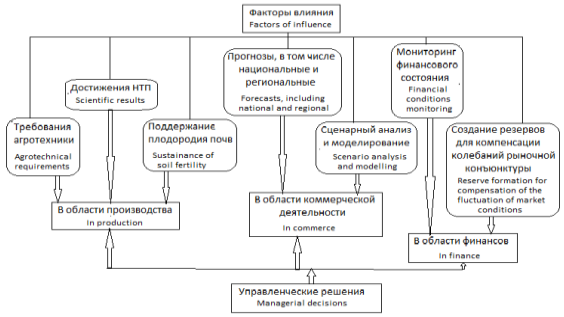


Рисунок 3. Схема влияния неопределенности на показатели прибыли и рентабельности

Figure 3. Scheme of uncertainty impact on profit and profitability indicators

ЛИТЕРАТУРА

1 Журкина Т.А., Межерицкая Н.Н., Измайлова Л.Н. Учет и анализ затрат в отрасли растениеводства // Экономика и предпринимательство. 2015. № 10–2 (63). С. 789–791.

2 Запорожцева Л.А., Сабетова Т.В. Формирование стратегии устойчивого развития коммерческих организаций // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2016. № 2 (68). С. 350–355.

3 Кулев С.А. Информатика и программирование: учебное пособие. Воронеж: ВГАУ, 2014. URL: http://catalog.vsau.ru/elib/books/b89974.pdf

4 Панина Е.Б., Панин А.И., Мешкова И.Н. Оценка влияния факторов макросреды предприятия с применением методики PEST-анализа // В сборнике: Теория и практика науки третьего тысячелетия Сборник статей студентов, аспирантов, молодых ученых и преподавателей. 2015. С. 36–39.

5 Федулова И.Ю. Стратегические задачи и направления государственной поддержки российского АПК // Экономика и предпринимательство. 2016. № 5 (70). С. 957–961.

6 Чарыкова О.Г., Чернышева И.И. Модель перспективного развития рынка зерна на принципах маркетинга // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. 2016. № 4. С. 40–44.

7 Шевцова Н.М., Федулова И.Ю. Конкурентоспособность областей Центрально-Черноземного региона РФ // Экономика и предпринимательство. 2016. № 2–1 (67). С. 265–268.

8 Zagvozkin M.V., Sabetova T.V. Consideration of the price fluctuations in companies' planning and public control of the agricultural product market // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2016. V. 57. № 9. P. 58–66.

9 Zhurkina T.A., Izmaylova L.N., Mezheritskaya N.N. Analysis of risks associated with the use of fixed assets // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2017. V. 64. № 4. P. 63–67.

Заключение

Обоснование решений в области производственной деятельности должно осуществляться на основании внутренних возможностей, пожеланий, а также технологических и научно-технических требований. В области коммерческой деятельности предприятие практически не может влиять на большинство процессов, а потому единственный способ, которым оно может защититься от влияния неопределенности и рисков, – это их учет. Для этого должны использоваться авторитетные и обоснованные прогнозы, а планы и решения должны предусматривать несколько вариантов развития рыночной конъюнктуры и действий предприятия по реагированию на них. В области финансов решения должны учитывать необходимость создания резервов на компенсацию негативного влияния внешних неконтролируемых факторов.

10 Kuehne G., Llewellyn R., Pannell D.J. Predicting farmer uptake of new agricultural practices: A tool for research, extension and policy // Agricultural Systems. 2017. V. 156, P. 115-125.

11 Le Cotty T., D'Hotel E.M., Soubeyran R. Linking risk aversion, time preference and fertiliser use in Burkina Faso // Journal of Development Studies. 2018. V. 54. № 11. P. 1991-2006.

12 Гребнева И. В., Нуждин Р. В., Полозова А.Н., Хорев А.И. Факторы и инструменты управления организационным бизнес-развитием. Воронеж: Научная книга, 2009. 206 с.

REFERENCES

1 Zhurkina T.A., Mezheritskaya N.N., Izmaylova L.N. Accounting and analysis of cost in crop farming. *Ekonomika i predprinimatelstvo* [Economy and entrepreneurship]. 2015. no. 10–2 (63). pp. 789–791. (in Russian)

2 Zaporozhtseva L.A., Sabetova T.V. Sustainable development strategy formation for business corporations. *Vestnik VSUET* [Proceedings of VSUET]. 2016. no. 2. pp. 350–355. (in English)

3 Kulev S.A. Informatika i programmirovanie [Informatics and programming: study guide]. Voronezh, VSAU, 2014. Available at: http://catalog.vsau.ru/elib/books/b89974.pdf (in Russian)

4 Panina E.B., Panin A.I., Meshkova I.N. Assessment of the influence of the company's macro-environmental factors using PEST-analysis method. Teoriya i praktica nauki tretyego nysyacheletiya [In the collection: Theory and practice of the third millennium: the collection of the works of students, graduate students, young scientists and teachers]. 2015. pp. 36–39. (in Russian)

5 Fedulova I.Yu. Strategic goals and directions of governmental support of Russian agro-industrial complex. *Ekonomika i predprinimatelstvo* [Economy and entrepreneurship]. 2016. no. 5(70). pp. 957–961. (in Russian)

6 Charykova O.G., Chernyshova I.I. The model of the prospective grain market development based on marketing principles. *FES: Finansy. Ekonomika. Strategiya* [FES: Finance. Economy. Strategy]. 2016. no. 4. pp. 40–44. (in Russian)

7 Shevtsova N.M., Feduliva I.Yu. Competitiveness of the regions of the Central Black-soil area of the Russian Federation. *Ekonomika i predprinimatelstvo* [Economy and entrepreneurship]. 2016. no. 2–1 (67). pp. 265–268. (in Russian)

8 Zagvozkin M.V., Sabetova T.V. Consideration of the price fluctuations in companies' planning and public control of the agricultural product market. Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2016. vol. 57. no. 9. pp. 58–66. (in Russian)

9 Zhurkina T.A., Izmaylova L.N., Mezheritskaya N.N. Analysis of risks associated with the use of fixed assets. Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2017. vol. 64. no. 4. pp. 63–67. (in Russian)

10 Kuehne, G., Llewellyn, R., Pannell, D.J. Predicting farmer uptake of new agricultural practices: A tool for research, extension and policy. Agricultural Systems. 2017. vol. 156. pp. 115-125.

11 Le Cotty T., D'Hotel E.M., Soubeyran R. Linking risk aversion, time preference and fertiliser use in Burkina Faso. Journal of Development Studies. 2018. vol. 54. no. 11. pp. 1991-2006.

12 Grebneva I.V., Nuzhdin R.V., Polozova A.N., Horev A.I. Faktory i instrumenty upravleniya organizacionnym biznes-razvitiem. Voronezh: Nauchnaya kniga, 2009. 206 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Татьяна В. Сабетова к.э.н., доцент, кафедра управления и маркетинга в АПК, Воронежский ГАУ, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, tsabetova@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Татьяна В. Сабетова обобщила материал, систематизировала информацию, построила выводы, написала рукопись и несет ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 22.03.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 19.07.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Tatiana V. Sabetova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, management and marketing in agro-industrial complex department, Voronezh State Agricultural University, Michurina str. 1, Voronezh, 394087, Russia, tsabetova@mail.ru

CONTRIBUTION

Tatiana V. Sabetova integrated the information, organized the information, drew results, wrote the manuscript and is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The author declares no conflict of interest.

RECEIVED 3.22.2018

ACCEPTED 7.19.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 338.242.2

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-426-435

Управление конкурентоспособностью товара на основе применения теории привлекательного качества Н. Кано (на примере ОАО «Сагуновский Мясокомбинат»)

Мария А. Гурина [1] mag30@mail.ru
Юлия В. Румянцева [2] ru.lstu@gmail.com

[1] Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Липецкий филиал, ул. Интернациональная, 3, г. Липецк, 398000, Россия

[2] Липецкий государственный технический университет, ул. Московская, 30, г. Липецк, 398600, Россия

Аннотация. В рамках научного исследования обосновывается идея о том, что ключевой задачей управления конкурентоспособностью являются доказательство жизнеспособности производимого товара и создание условия для борьбы за потребителя с помощью современных методов обеспечения потребительской удовлетворенности. В этих условиях особую актуальность приобретают модели формализации спроса и определения конкурентоспособности продукции. Рассматривается модель привлекательности Норияки Кано, позволяющая выделить имеющиеся особенности товаров конкретного производителя, не встречающиеся у товаров-аналогов конкурентов, которые могли бы повысить конкурентоспособность исследуемой продукции. В статье приведены результаты исследования удовлетворенности потребителей мясными изделиями ОАО «Сагуновский Мясокомбинат» методом Н. Кано, выявлены факторы повышения привлекательности продукции и конкурентных преимуществ предприятия на рынке. Авторами была составлена анкета, которая позволила выявить различную степень удовлетворенности свойствами мясной продукции комбината. Особенностью содержания вопросов анкеты являлось сочетание позитивных и негативных вопросов, что позволило сформировать наиболее полное представление о привлекательности свойств мясной продукции. Результатом обработки полученных данных стал расчет потенциалов удовлетворенности и неудовлетворенности потребителей продукции комбината и составление карты характеристик. Продукты, произведенные мясокомбинатом, могут иметь высокое потенциальное качество, т.е. соответствовать ГОСТу и общепризнанным техническим характеристикам, но высокое реальное качество достигается только в процессе использования товара и удовлетворения потребителя. Исследование показало, что в стратегии компании мало уделяется внимания совершенствованию продуктовой линейке в премиум-сегменте, а также тем характеристикам мясных изделий, которые напрямую не связаны с основными свойствами колбасы, но делают потребителя счастливым. Мясокомбинату необходимо пересмотреть подходы к разработке и реализации товарной политики, в частности, пересмотреть требования к запаху, нарезке и высокому содержанию специй в колбасе. Применение данной модели позволит предприятию разработать мероприятия по повышению привлекательности продукции и совершенствованию стратегии продвижения товара на рынке.

Ключевые слова: управление конкурентоспособностью, модель привлекательного качества Н. Кано, качество, предпочтения потребителей

Competitiveness Management of Goods Based on the Application of the Theory of Attractive Quality N. Kano (on the example of JSC “Sagunovsky Meat Processing Plant”)

Maria A. Gurina [1] mag30@mail.ru
Yuliya V. Rumyantseva [2] ru.lstu@gmail.com

[1] Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation, Lipetsk branch, International St., 3, Lipetsk, 398000, Russia

[2] Lipetsk State Technical University, Moskovskaya St., 30 Lipetsk, 398600, Russia

Abstract. The study substantiates the idea that the key task of managing competitiveness is the proof of the viability of the goods produced and the creation of conditions for the struggle for the consumer with the help of modern methods of ensuring customer satisfaction. Under these conditions, models of demand formalization and determining the competitiveness of products become particularly relevant. The Noriaka Kano model of attractiveness is considered, which makes it possible to single out the existing features of products of a particular manufacturer that are not found in competing analog products that could increase the competitiveness of the products studied. The article presents the results of a study of consumer satisfaction with meat products of OJSC “Sagunovsky Meat Processing Plant” by the method of N. Kano, identified factors that increase the attractiveness of products and the competitive advantages of an enterprise in the market. The authors compiled a questionnaire, which allowed to identify various degrees of satisfaction with the properties of the meat products of the plant. A feature of the content of the questionnaire questions was a combination of positive and negative questions, which made it possible to form the most complete picture of the attractiveness of the properties of meat products. The result of the processing of the obtained data was the calculation of the satisfaction and dissatisfaction potentials of consumers of the plant’s products and the mapping of characteristics. Products produced by the meat processing plant may have a high potential quality, i.e. Comply with state standart and generally accepted specifications, but high real quality is achieved only in the process of using the product and customer satisfaction. The study showed that in the company's strategy little attention is paid to improving the product line in the premium segment, as well as to those characteristics of meat products that are not directly related to the basic properties of the sausage, but make the consumer happy. The meat factory needs to reconsider approaches to the development and implementation of product policy, in particular, to revise the requirements for smell, cutting and high content of spices in sausage. The use of this model will allow the company to develop measures to increase the attractiveness of products and improve the strategy of product promotion on the market.

Keywords: competitiveness management, N. Kano`s model of attractive quality, quality, preferences of consumers

Для цитирования

Гурина М.А., Румянцева Ю.В. Управление конкурентоспособностью товара на основе применения теории привлекательного качества Н. Кано (на примере ОАО «Сагуновский Мясокомбинат») // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 426–435. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-426-435

For citation

Gurina M.A., Rumyantseva Yu.V. Competitiveness Management of Goods Based on the Application of the Theory of Attractive Quality N. Kano (on the example of JSC “Sagunovsky Meat Processing Plant”). *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 426–435. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-426-435

Введение

Для обеспечения успешного положения на рынке современному предприятию необходима не только благоприятная внешняя правовая и экономическая среда, но и постоянное внедрение новых технологий производства и управления, ориентация на обновление выпускаемых товаров и повышение их качества. Современные исследования показывают, что конкурентоспособность товара на 70–80% зависит от его качества [3, С. 19; 5].

Исследование сущности конкурентоспособности, факторов, от которых зависит ее уровень, методов воздействия на нее, а также инструментальных средств, позволяющих управлять конкурентоспособностью, является предметом изучения многих зарубежных и отечественных ученых [6, С. 226; 7]. Управление конкурентоспособностью – важнейшее стратегическое направление развития компании, основной целью которого становится обеспечение выпуска продукции, отвечающей заданным требованиям конкуренции на рынке при минимизации затрат, с учетом интересов потребителей и требований безопасности и экологичности продукции.

Таким образом, по нашему мнению, ключевыми задачами управления конкурентоспособностью являются доказательство жизнеспособности производимого товара и создание условий для борьбы за потребителя с помощью современных методов обеспечения потребительской удовлетворенности [4].

Вопросы управления конкурентоспособностью на основе оценки удовлетворенности потребителей рассматриваются в трудах зарубежных и отечественных ученых [7]:

- в области конкуренции и конкурентоспособности – А. Смит, Д. Рикардо, Б. Олин, И. Ансофф, М. Портер, Ж.-Ж. Ламбен, Х. Симон, Б. Берман, Дж. Эванс, К.Р. Макконнелл, Г.Л. Азоев, Е.С. Быкова, С.Л. Брю, И.В. Головин, Н.С. Егоров, П.С. Завьялов, А.Ю. Юданов, Р.А. Фатхудинов и др.;
- в области теории и практики измерения потребительской удовлетворенности и лояльности – А.Т. Андреев, М. Брун, Ф. Котлер, С.П. Казаков, Г.Р. Коуз, Ж. – Ж. Ламбен, Н.С. Перекалина, Н. Кано и др.;
- в области маркетинга отношений – Н. Вудкок, Е.П. Голубков, А. Гордон, К. Лавлок, Н.А. Платонова, М. Стоун, Л.Б. Сульповар, И.В. Христофорова и др.

Рассматривая качество продукции как составляющий элемент её конкурентоспособности, необходимо принимать во внимание те свойства продукции и уровень параметров, их определяющий, которые представляют интерес для потребителя и обеспечивают удовлетворение его потребностей [4, С. 19].

В теории и практике управления конкурентоспособностью предприятия, его маркетинговой деятельностью используется значительный набор инструментов оценки привлекательности товара для потребителя [3]. Один из конкретно-предметных методов сбора информации для анализа удовлетворенности потребителей – анкетирование. Достоверность сведений об удовлетворенности и эффективность применяемой анкеты в маркетинговых исследованиях обеспечивается включением в неё именно тех вопросов, которые важны для потребителя [8].

Уровень качественных параметров, который в наибольшей степени соответствует потребностям и возможностям потребителей соответствующего сегмента, получил в маркетинговых исследованиях название «прицельное качество». Активным инструментом для выработки стратегии компании и решения задач по обеспечению удовлетворенности и лояльности клиентов является метод японского ученого Норияки Кано из университета Рика в Японии, Токио [9]. Модель Н. Кано – это логическая и графическая конструкция, позволяющая ранжировать
атрибуты качества товара на необходимые и отличительные [5].

В статье представлены результаты исследования удовлетворенности потребителей мясными изделиями ОАО «Сагуновский Мясокомбинат» методом Н. Кано, выявлены факторы повышения привлекательности продукции и конкурентных преимуществ предприятия на рынке.

Результаты и обсуждение

В свете поиска современными отечественными предприятиями устойчивых конкурентных позиций повышается актуальность моделей формализации спроса и определения конкурентоспособности продукции. В определении конкурентных преимуществ концепция создания привлекательного качества (Attractive Quality Creation) может сыграть важную роль. Актуальность модели заключается не только в том, что она позволяет определить предпочтения потребителей и разработать, используя имеющиеся компоненты, соответствующие товары. Важно, что она разрешает выделить имеющиеся особенности товаров конкретного производителя, не встречающиеся у товаров-аналогов конкурентов, которые могли бы повысить конкурентоспособность исследуемой продукции [1, С. 10].

Основу модели японского ученого составляют потребности трех видов: определенные, подразумеваемые и предвосхищенные [5].

Определенные потребности, или требуемое качество продукта, – это характеристики, которые оговариваются при совершении покупки. Фактически, покупатель платит именно за их наличие.

Подразумеваемые потребности, или базовое качество, – это те характеристики товара или услуги, которые обязаны присутствовать, независимо от цены и прочих свойств продукта, по мнению покупателя. При покупке не оговариваются, поскольку клиент предполагает их наличие.

Особое место в исследовании с помощью модели Кано занимают предвосхищенные потребности, или потребности, обеспечивающие опережающее качество. Удовлетворение этих желаний обеспечивают характеристики продукции, наличие которых транзакция не предполагает, однако и ожиданий по поводу их существования у клиента также нет. Они являются приятным дополнением к сделке.

Таким образом, удовлетворение покупателя напрямую зависит от наличия и количества определенных потребностей; нисколько не зависит от наличия подразумеваемых потребностей, но теряется при их отсутствии; сильно зависит от наличия предвосхищенных потребностей, но не теряется при их отсутствии.

Качество как ключевая составляющая конкурентоспособности проявляется в двух видах: потенциальном и реальном [2]. Потенциальное качество формируется на этапе разработки и производства товара, когда он не дошел до реализации и не попал на рынок. Реальное качество формируется после покупки товара и отражает реакцию и видение товара потребителем. Качественный, с точки зрения производителя, товар, т. е. имеющий высокое потенциальное качество, может абсолютно не нравиться покупателю, то есть иметь низкое реальное качество, и наоборот.

С помощью модели Кано устанавливается взаимосвязь между техническими и потребительскими параметрами продукции, поскольку она отражает восприятие качества потребителем и способствует пониманию реального качества товара производителем [12].

Особенностью разработки анкеты для проведения исследования с помощью метода Кано являются позитивные и негативные формулировки вопросов. Инструментарий снижает уровень субъективности оценочных суждений за счет противоположных вопросов и позволяет выявить действительные предпочтения потребителей, а не позицию респондентов, привлекательную с позиции общества [13, 14].

Авторами было проведено исследование предпочтений потребителей мясных изделий на примере ОАО «Сагуновский Мясокомбинат». Часть исследования была применена и апробирована в рамках диссертаций магистрантов Липецкого государственного технического университета под руководством Ю.В. Румянцевой.

ОАО «Сагуновский Мясокомбинат» территориально располагается в Воронежской области по адресу Подгоренский район, п. Красный Восход, ул. Заводская, д. 37. Предприятие производит широкий ассортимент продуктов из мяса кур, свинины и говядины. Продукция сбывается через крупные торговые сети в 12 областях Российской Федерации (рисунок 1). В Липецкой области продукты представлены в магазинах «Пятерочка», «Магнит», «Покупайка», «Пролетарский» и прочие. Основные потребители продукции мясокомбината – это Воронежская, Белгородская, Липецкая и Орловская области.

Оценивая продажи мясокомбината, необходимо рассмотреть не только структурный, но и динамический аспект (рисунок 2). Наивысший уровень продаж в 2017 году наблюдался в августе и декабре.

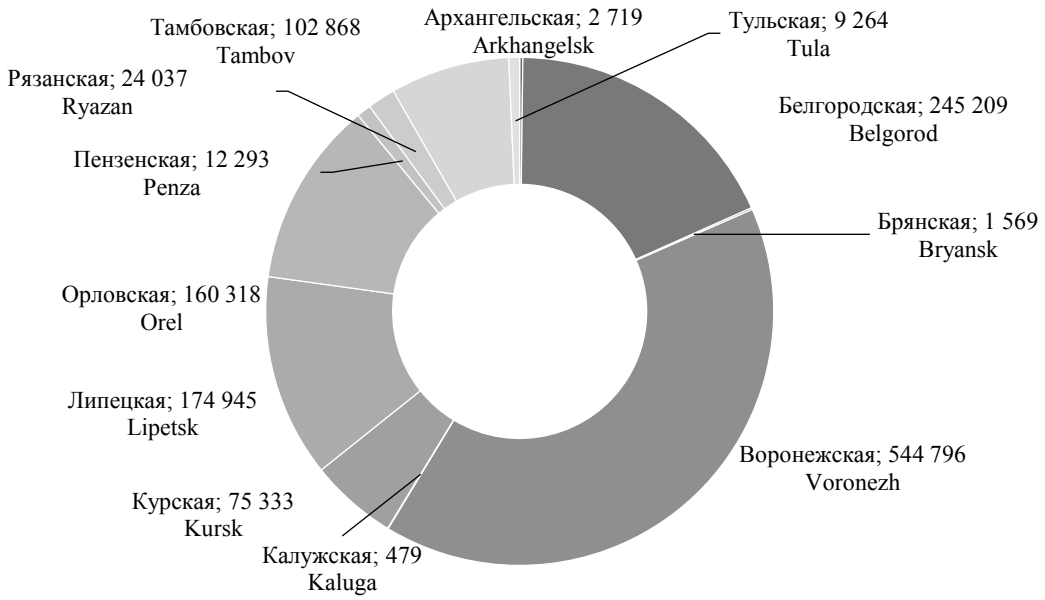


Рисунок 1. Структура продаж ОАО «Сагуновский Мясокомбинат» по областям в 1-м квартале 2018 г., кг
Figure 1. Sales structure of JSC "Sagunovsky Meat Processing Plant" by regions in the 1st quarter of 2018, kg

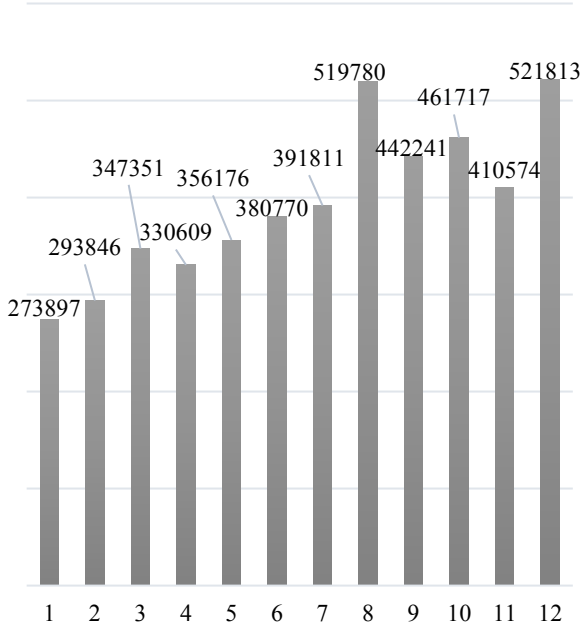


Рисунок 2. Динамика продаж ОАО «Сагуновский Мясокомбинат» по месяцам 2017 г., кг

Figure 2. Sales dynamics of JSC "Sagunovsky Meat Processing Plant" by months 2017, kg

ОАО «Сагуновский Мясокомбинат» производит всего 9 групп мясопродуктов:

- «Вареные» - 7 наименований разного веса, яркий представить группы – ливерная печеночная колбаса;
- «Ветчины» – 4 наименования, лидер группы – медовая ветчина;
- «Деликатесы» – 19 наименований до 40 дней сроком годности, наибольшие продажи у российского карбонада;
- «Копченые» – большая группа, включающая 31 вид колбас, с однородной структурой продаж;
- «Полуфабрикаты» – шашлык двух весовых категорий;
- «Птица» – 4 наименования с однородной структурой продаж;
- «Сосиски, сардельки» – 11 наименований, наиболее продаваемые сосиски нежные;
- «Сырокопченые» – 4 наименования длительного срока реализации, яркий представитель группы – венский сервелат;
- «Шпики» – 3 наименования с однородной структурой продаж.

Мы выявили, что комбинат не поставляет однородную продукцию во все магазины. Структура продаж очень разнится по магазинам и областям присутствия. Большая часть потребителей не догадывается о высоком разнообразии мясопродуктов из говядины, курицы и свинины.

Для исследования потребительских предпочтений по модели удовлетворенности потребителей, или по методу Н. Кано, мы сформировали анкету, в которой представлен список возможных, предположительно важных для клиента, характеристик товара. Были выбраны 15 параметров мясопродукта (колбасы) (таблица 1). В исследовании важно узнать не только отношение респондентов к присутствию каждого параметра, но и к его отсутствию в товаре. Присутствие обозначается позитивной формулировкой в виде вопроса: если характеристика присутствует в товаре, как вы к этому отнесетесь? Негативная формулировка описывает обратную ситуацию: если эта характеристика товара отсутствует, как вы к этому отнесетесь? Анкета предполагает, что респондент может выбрать один из пяти вариантов ответов на каждую формулировку.

Таблица 1.

Позитивная и негативная формулировка свойств колбасы

Table 1.

Positive and negative formulation of sausage properties

Характеристика | Characteristic	Формулировка | Wording	Описание характеристики | Description of the characteristic
1	2	3
Свежесть | Freshness	Присутствует | Present	Колбаса свежая | Sausage fresh
	Отсутствует | Missing	Колбаса несвежая | Sausage stale
Цвет | Color	Присутствует | Present	Цвет яркий, красивый | Color bright, beautiful
	Отсутствует | Missing	Цвет тусклый, некрасивый | Color is dull, ugly
Плотность | Density	Присутствует | Present	Упругая, плотная при нажатии | Elastic, tight when pressed
	Отсутствует | Missing	Мягкая, рыхлая консистенция | Soft, loose consistency
Срок хранения | Shelf life	Присутствует | Present	Короткий срок хранения | Short shelf life
	Отсутствует | Missing	Длительный срок хранения | Long shelf life
Доступность | Availability	Присутствует | Present	Доступна в торговых сетях | Available in retail chains
	Отсутствует | Missing	Продается в специализированных магазинах | Sold in specialized stores

Continuation of table 1| Продолжение таб. 1

1	2	3
Однородность | Uniformity	Присутствует | Present	Структура однородная | The structure is homogeneous
	Отсутствует | Missing	Структура волокнистая | Fiber structure
Специи | Spices	Присутствует | Present	Специй достаточно | Spice is enough
	Отсутствует | Missing	Специй много | Spice a lot
Упаковка | Packing	Присутствует | Present	Яркая, красочная упаковка | Bright, colorful packaging
	Отсутствует | Missing	Неприметная упаковка | Inconspicuous packaging
Запах | Smell	Присутствует | Present	Приятный запах | Nice smell
	Отсутствует | Missing	Резкий, неприятный запах | Sharp, unpleasant odor
Размер | Size	Присутствует | Present	Палка колбасы удобно лежит в руке, удобно резать | A sausage stick conveniently lies in the hand, it is convenient to cut
	Отсутствует | Missing	Неудобный размер палки колбасы | Inconvenient size of a sausage stick
Нарезка | Cutting	Присутствует | Present	Колбасу можно купить нарезкой | You can buy sausage sliced
	Отсутствует | Missing	Колбасу можно купить только целой палкой | Sausage can only be bought with a whole stick
Известность марки | Brand fame	Присутствует | Present	Известная марка | Famous Brand
	Отсутствует | Missing	Неизвестная марка | Unknown Brand
Награды | Awards	Присутствует | Present	Есть награды в конкурсах | There are awards in competitions
	Отсутствует | Missing	Нет наград в конкурсах | No awards in contests
Отзывы | Reviews	Присутствует | Present	Положительные отзывы друзей | Positive feedback from friends
	Отсутствует | Missing	Нет отзывов | No reviews
ГОСТ | state standard	Присутствует | Present	Сделана по ГОСТу (класс А) | Made according to state standard (class A)
	Отсутствует | Missing	Сделана по ТУ (класс Б) | Made according to technical specification (TS) (class B)

Возможные варианты ответов:

мне это нравится;

так и должно быть;

мне все равно;

я могу с этим жить/терпеть;

мне это не нравится.

Анкетирование и обработка результатов проводились в течение первого полугодия 2018 года. В исследовании приняли участие 100 респондентов разного возраста, достатка и социального положения, мужчины и женщины.

Результаты анкетирования можно свести в таблицу, в которой строчки символизируют пять вариантов ответа на вопрос позитивной формулировки, пять столбцов представляют пять вариантов ответа на вопрос негативной формулировки. Сочетание каждого ответа индивидуально и может быть занесено в одну из 25 ячеек таблицы. Таким образом, ответ каждого респондента имеет две координаты: вариант реакции на наличие характеристики и вариант реакции на ее отсутствие. Для каждой характеристики заводим отдельную таблицу. Для примера приведем сочетание ответов по характеристике «Свежесть» (таблица 2).

Таблица 2.

Сочетание ответов респондентов по характеристике «Свежесть», %

Table 2.

Combination of respondents' answers on the "Freshness" characteristic, %

Негативная формулировка Negative wording / Позитивная формулировка Positive formulation	Нравится Like	Должно быть Should be	Безразлично Indifferent	Могу терпеть I can stand	Не нравится I do not like
Нравится | Like					44
Должно быть | Should be					50
Безразлично | Indifferent					
Могу терпеть | I can stand				6	
Не нравится | I do not like					

Обрабатываем полученные данные опроса. Выявляем отношение к свежести колбасы у респондентов как однозначное: нравится свежая колбаса, она должна быть такой, несвежая колбаса не нравится. К цвету продукта предъявляются более разнообразные требования: большая часть опрошенных любит яркий цвет колбасы, 18% уверены, что она и должна быть

яркой, 26% цвет безразличен, 6% опрошенных связывают яркий цвет с наличием красителей, что негативно сказывается на качестве. Результаты исследования показывают позитивное отношение респондентов к высокой плотности мясопродукта, 12% респондентов демонстрируют безразличие к плотности, рыхлую колбасу могут терпеть 25% и не любят 57% респондентов. Неожиданным оказалось проявление терпимости респондентов к срокам годности товара. Основная масса ответов показывает, что опрашиваемые не понимают, чего бы они хотели в этой характеристике – длительного или непродолжительного срока хранения. Неоднозначно оценивалось свойство доступности товара. Часть опрошенных выбирает известные, часто встречающиеся марки, которые есть в наличии в любом магазине, другая часть ценит мясопродукты из специализированных лавок, 31% респондентов безразлична марка. Однородная структура продукта нравится ровно половине опрошенных, другая половина не обращает на структуру внимания. Мы столкнулись с непониманием респондентами этой характеристики из-за того, что неоднородность структуры некоторые воспринимали как наличие наполнителей в виде вкраплений кусочков ветчины и прочих мясных компонентов. Исследование показало, что почти все респонденты любят колбасу со специями. Неожиданные ответы были получены об упаковке мясопродукта. Анкетирование показало, что респонденты выбирают колбасу с неприметной, неяркой упаковкой, для 63% опрошенных упаковка оказалась безразличной. Мясокомбинату бессмысленно тратиться на разработку привлекательной упаковки, потребитель не ценит эту характеристику. А вот запах имеет очень важное значение для респондентов: 94% перед покупкой оценивают запах товара и только 6% безразличны к запаху. Размер палки колбасы не имеет никакого значения для респондентов. Нарезка важна занятым людям, в особенности мужчинам. Известность марки приятна покупателям, но и неизвестность не вызывает негатива. Награды, а также отзывы друзей и знакомых неожиданно вызвали у респондентов безразличие и даже отрицательное отношение. Потребители не доверяют таким признакам и предпочитают лично – по запаху – выбирать продукт. Самые неожиданные ответы мы получили от респондентов о выработке товара по ГОСТу. Более взрослые респонденты (старше 50 лет) отмечали необходимость ГОСТа. Более молодые респонденты любят колбасу, сделанную по ТУ, и безразличны к колбасе, выполненной по ГОСТу.

Группировка результатов исследования

Дальнейшая обработка и группировка ответов ведется в соответствии с интерпретацией двухмерных результатов анкетирования. В таблице 3 приводится такая интерпретация, т.е. показывается, какие координаты ответов соответствуют привлекательным, необходимым, одномерным, вызывающим обратную реакцию и не имеющим значение.

По каждому свойству суммируются полученные интерпретированные ответы и вносятся в соответствующий столбец (таблица 4).

Таблица 3.

Матрица интерпретации результатов опроса по модели Кано

Table 3.

Matrix for interpreting the results of the Kano model survey

Негативная Negative wording / Позитивная Positive formulation	Нравится Like	Должно быть Should be	Безразлично Indifferent	Могу терпеть I can stand	Не нравится I do not like
Нравится Like	Сомнительная Doubtful	Привлекательная Attractive	Привлекательная Attractive	Привлекательная Attractive	Одномерная One-dimensional
Должно быть Should be	Обратная Reverse	Не имеет значения Irrelevant	Не имеет значения Irrelevant	Не имеет значения Irrelevant	Необходимая Required
Безразлично Indifferent	Обратная Reverse	Не имеет значения Irrelevant	Не имеет значения Irrelevant	Не имеет значения Irrelevant	Необходимая Required
Могу терпеть I can stand	Обратная Reverse	Не имеет значения Irrelevant	Не имеет значения Irrelevant	Не имеет значения Irrelevant	Необходимая Required
Не нравится I do not like	Обратная Reverse	Обратная Reverse	Обратная Reverse	Обратная Reverse	Сомнительная Doubtful

Таблица 4.

Интерпретация характеристик исследования

Table 4.

Interpretation of survey characteristics

Характеристика Characteristic	Привлекательная Attractive	Одномерная One-dimensional	Необходимая Required	Не имеет значения Irrelevant	Обратная Reverse	Сомнительная Doubtful
1	0	44	50	6	0	0
2	25	25	6	31	13	0
3	12	19	38	31	0	0
4	13	6	6	63	12	0
5	38	7	0	43	6	6
6	25	18	7	50	0	0
7	37	13	0	31	0	19
8	6	0	0	82	12	0
9	0	50	44	6	0	0
10	6	0	0	94	0	0
11	12	0	18	31	33	6
12	38	12	0	50	0	0
13	25	6	0	69	0	0
14	50	13	0	37	0	0
15	25	12	6	57	0	0

Часть сочетаний по своей сути нелогична и бессмысленна, а их вероятность существенно мала. Такие ответы числятся «сомнительными», что означает их сомнительную ценность. Но именно эти ответы имеют важное значение в дальнейших расчетах потенциала удовлетворенности и неудовлетворенности клиентов.

На основе того, как часто отнесена каждая характеристика к той или иной точке координат, формируется таблица координат потенциалов. Для этого рассчитываются потенциалы удовлетворенности и неудовлетворенности характеристиками по формулам:

$$\text{Потенциал для удовлетворенности потребителей} = \frac{(\text{сомнительные} + \text{одномерные})}{(\text{сомнительные} + \text{одномерные} + \text{необходимые} + \text{обратного действия} + \text{не имеющие значения})} \cdot 100;$$

$$\text{Потенциал для неудовлетворенности потребителей} = \frac{(\text{одномерные} + \text{необходимые} + \text{обратного действия})}{(\text{привлекательные} + \text{одномерные} + \text{необходимые} + \text{обратного действия} + \text{не имеющие значения})} \cdot (-100).$$

Показатели удовлетворенности и неудовлетворенности приведены в таблице 5.

Таблица 5.

Показатели удовлетворенности и неудовлетворенности респондентов

Table 5.

Indicators of satisfaction and dissatisfaction of respondents

Характеристика Characteristic	Удовлетворенность Satisfaction	Неудовлетворенность Dissatisfaction
1	44	-94
2	33,33333	-44
3	21,59091	-57
4	6,896552	-24
5	20,96774	-13,8298
6	24	-25
7	50,79365	-16,0494
8	0	-12
9	50	-94
10	0	0
11	6,818182	-54,2553
12	19,35484	-12
13	8	-6
14	26	-13
15	16	-18

Интерпретация результатов исследования

Полученные координаты потенциалов в виде точек можно нанести на систему координат, где по оси абсцисс – наличие свойства, а по оси ординат – удовлетворенность покупателя (рисунок 3). Все характеристики распределяются на 4 квадранта, каждый из которых имеет свое описание.

Интерпретация данной карты следующая. Свойства, попавшие в левый верхний квадрант, называются «Под вопросом». Это характеристики товара, которые делают покупателя более удовлетворенным. Они могут рассматриваться для позиционирования в премиум-сегменте.

Характеристики, попавшие в правый верхний квадрант, являются желательными. Они не связаны с основными потребностями напрямую, но их наличие делает клиента удовлетворенным.

Самые банальные и не имеющие значения свойства попадают в левый нижний квадрант.

Характеристики, наличие которых является обязательным, попадают в правый нижний квадрант. Именно наличие этих свойств определяет, будут ли покупатели пользоваться этим товаром.

Результаты нашего исследования приведены в таблице 6.

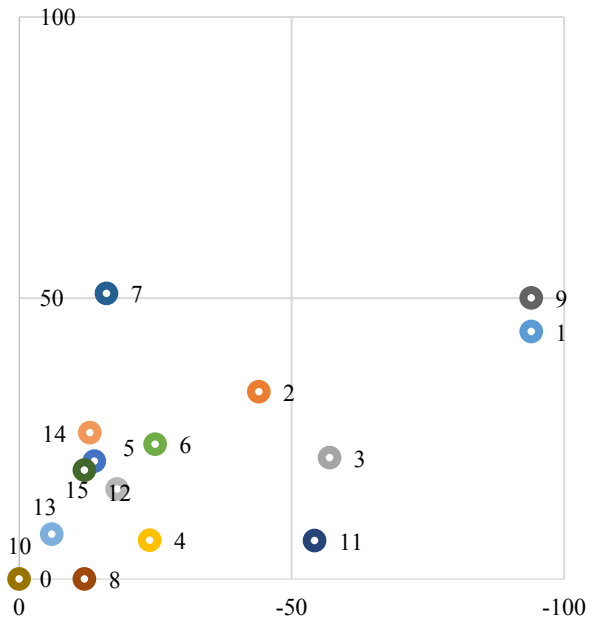


Рисунок 3. Карта удовлетворенности/ неудовлетворенности потребителей по модели Кано

Figure 3. Customer Satisfaction/Dissatisfaction Chart by Kano Model

Таблица 6.
Классификация характеристик колбасы по результатам исследования

Table 6.
Classification of sausage characteristics by the results of the investigation

Характеристики под вопросом Attractive properties	Привлекательные свойства
7 – Специи 7 – Spices	9 – Запах 9 – Smell
Характеристики, не имеющие значения для потребителя Characteristics that do not matter to the consumer	Обязательные характеристики Mandatory characteristics
2 – Цвет 2 – Color 4 – Срок хранения 4 - Shelf life 5 – Доступность 5 – Availability 6 – Структура 6 – Structure 8 – Упаковка 8 – Packing 10 – Размер 10 – The size 12 – Марка 12 -- Make 13 – Награды 13 – Awards 14 – Отзывы 14 – Reviews 15 – ГОСТ 15 – GOST	1 – Свежесть 3 – Плотность 11 – Нарезка

Проведенные исследования показали, что основная часть параметров, выбранных для оценки, не важна для респондентов при выборе товара. Подавляющее большинство опрошенных не интересуется, выполнена ли колбаса по ГОСТу. Покупатели выбирают мясопродукт по результатам личной оценки его свежести и плотности. Занятые работой мужчины ценят уже нарезанную колбасу. Приятный запах является одним из основных признаков качества товара. Это необязательный критерий, который делает покупателя более счастливым. Несмотря на научный факт, подтверждающий качество колбасы с небольшой долей специй, респонденты хотят видеть в продуктах всевозможные специальные добавки, улучшающие вкус. Характеристика «Специи» относится к свойствам «Под вопросом» и может рассматриваться как фактор усовершенствования товара или разработки нового. Почти не имеют значения срок хранения, цвет, структура, доступность, награды, отзывы друзей, упаковка, марка, размер колбасы и ГОСТ.

Заключение

Результаты исследования удовлетворенности потребителей мясными изделиями получены на основе применения метода японского ученого Норияки Кано. Метод позволяет охарактеризовать свойства продукции и уровень параметров, их определяющий, которые представляют интерес для потребителя и обеспечивают удовлетворение его потребностей. Применение данной модели позволит предприятию разработать мероприятия по повышению привлекательности продукции и совершенствованию стратегии продвижения товара на рынке.

Продукты, произведенные мясокомбинатом, могут иметь высокое потенциальное качество, т.е. соответствовать ГОСТу и общепризнанным техническим характеристикам, но высокое реальное качество достигается только в процессе использования товара и удовлетворения потребителя. Если покупатель не оценивает мясопродукты как качественные и не придает значения важным для производителя характеристикам, необходимо улучшить связь с потребителем и придерживаться стратегии повышения качества продукции [10]. ОАО «Сагуновский Мясокомбинат» рекомендуется разработать новые виды или усовершенствовать существующие группы товаров из мяса путем использования большей доли специй и создания более яркого запаха. Необходимо отслеживать периодичность поставок, чтобы колбаса и другие мясопродукты на прилавках всегда оставались свежими и имели плотную структуру. Рекомендуется добавить в продуктовую линейку разнообразие колбас в нарезке.

В целях повышения конкурентоспособности продукции мясоперерабатывающего предприятия необходимо не только анализировать внешнюю среду, но и создавать внешние конкурентные преимущества [2], основываясь на системном представлении предпочтений потребителя. Такой системный подход предполагает формирование товарного ряда, опираясь на комплекс организационно-технических и качественных характеристик, наиболее полно удовлетворяющих не только определенные, но и предвосхищенные потребности покупателей. Внедрение дополнительных привлекательных свойств продукта необходимо планомерно отслеживать с точки зрения формирования конкурентных преимуществ предприятия и повышения его конкурентоспособности.

Мясоперерабатывающие предприятия относятся к отраслям с низкой концентрацией, для которых характерны отсутствие экономии на масштабе [11, С. 249], разнообразие рыночного спроса [11, С. 251] и неустойчивые колебания сбыта. Стандартизировать разнообразие рыночного спроса следует путем выявления общих отраслевых тенденций и потребительских предпочтений, что позволит повысить концентрацию в отрасли, т. е. укрепить конкурентные позиции отдельных предприятий.

Укрепление внешних, или неценовых, конкурентных преимуществ отдельных мясоперерабатывающих комбинатов и их продукции может повлиять на изменение структуры отрасли. Эволюция потребительских предпочтений в отношении к мясным изделиям, в частности появление требований к запаху, нарезке и высокому содержанию специй, может быть рассмотрена ОАО «Сагуновский Мясокомбинат» как благоприятная возможность изменить структуру отрасли путем повышения конкурентоспособности продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1 Бабейкин М.Л. Использование моделей Кано и взаимосвязанных жизненных циклов для повышения конкурентоспособности сложных промышленных изделий // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право. 2016. № 1. С. 10–15. URL: http://www.vipstd.ru/index.php

2 Джораев С.Х., Румянцева Ю.В. Качество продукции как категория конкурентоспособности // Бережливое производство: как устранить потери и повысить эффективность производственной системы предприятия: материалы межрегиональной научно-практической конференции, Липецк, 18 декабря 2017 г. Воронеж: «Издательство РИТМ», 2017. С. 36–39.

3 Горбашко Е.А. Управление качеством. М.: Юрайт, 2018. 352 с.

4 Гурина М.А., Точеная О.Н. Проблемы и критерии повышения качества услуг // Центральный научный вестник. 2018. Т. 3. № 5(46). С. 19.

5 Ривелл Дж.Б. Главное о качестве. Справочник от А до Я. М.: Стандарты и качество, 2006. 232 с.

6 Балашова Р.И., Комарницкая Е.В. Конкурентоспособность предприятия как экономическая категория // Экономические исследования и разработки. 2016. № 10. URL: http://edrj.ru/article/02-03-16

7 Сазонов А.А. Управление конкурентоспособностью торговых домов на основе потребительской удовлетворенности: автореф. дис. канд. экон. наук: 08.00.05. Москва, 2009. 48 с.

8 Салимова Т.А., Сырямина Л.В. Конкурентоспособность продукции как следствие ориентации на потребителя // Практический маркетинг. 2007. № 6. URL: https://www.cfin.ru/press/practical / 2007–06/04.shtml

9 Lillrank P., Kano N. Continuous Improvement: Quality Control Circles in Japanese Industry. Michigan Papers in Japanese Studies 19. Ann Arbor: The University of Michigan Center for Japanese Studies, 1989, 294 p.

10 H. Simon. Strategy in Competition. B. Jain Publishers (P) Ltd, 2008.

11 Porter M.E. Competitive strategy: techniques for analyzing industries and competitors. New York: Free Press, 1980.

12 Ruidong C. Research on employer brand evalution index system based on Kano model [D]. Shandong: Shandong University of Finance and Economics, 2013.

13 Lin F-H, Tsai S-B, Lee Y-C, Hsiao C-F et al. Empirical research on Kano's model and customer satisfaction // PLOS ONE. 2017. V. 12. № 9. URL: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183888

14 Юлин Ху. Исследование аудиального опыта восприятия пользователя на мобильной платформе, основанного на модели Кано // Вестник МГУП имени Ивана Федорова. 2016. № 1. С. 109–113.

15 Генералов И.Г., Суслов С.А. Методические подходы к оценке конкурентоспособности организаций // Вестник НГИЭИ. 2016. № 9 (64). С. 31–38.

16 Хорев А.И., Овчинникова Т.И., Кобелева С.В. Развитие конкурентоспособных инновационных производств на основе интенсификации труда // Экономика. Инновации. Управление качеством. 2014. № 2 (7). С. 9-16.

REFERENCES

1 Babejkin M.L. Using Cano models and interconnected life cycles to increase the competitiveness of complex industrial products. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Ehkonomika i pravo* [Modern science: actual problems of theory and practice. Series: Economics and Law]. 2016. no. 1. pp. 10–15. Available at: http://www.vipstd.ru/index.php (in Russian)

2 Dzhoraev S.H., Rumyanceva Yu.V. Product quality as a category of competitiveness. Berezhlivoe proizvodstvo: kak ustranit' poteri i povysit' ehffektivnost' proizvodstvennoj sistemy predpriyatiya [Lean manufacturing: how to eliminate losses and improve the efficiency of the production system of an enterprise: materials of the interregional scientific-practical conference, Lipetsk, December 18, 2017]. Voronezh, «RITM Publishing House», 2017. pp. 36–39. (in Russian)

3 Gorbashko E.A. Upravlenie kachestvom [Quality control]. Moscow, Yurajt, 2018. 352 p. (in Russian)

4 Gurina M.A., Tochenaya O.N. Problems and criteria for improving the quality of services. *Central'nyj nauchnyj vestnik* [Central Scientific Herald]. 2018. vol. 3. no. 5(46). pp. 19. (in Russian)

5 Rivell Dzh.B. Glavnoe o kachestve. Spravochnik ot A do Ya [The main thing about quality. Handbook from A to Z]. Moscow, Standards and quality, 2006. 232 p. (in Russian)

6 Balashova R.I., Komarnickaya E.V. Competitiveness of an enterprise as an economic category. *Ehkonomicheskie issledovaniya i razrabotki* [Economic research and development]. 2016. no. 10. Available at: http://edrj.ru/article/02-03-16 (in Russian)

7 Sazonov A.A. Upravlenie konkurentosposobnost'yu torgovyh domov na osnove potrebitel'skoj udovletvorennosti. avtoref. dis. kand. ehkon. nauk [Managing the competitiveness of trading houses based on consumer satisfaction. author. dis. cand. econ of sciences]. Moscow, 2009. 48 p. (in Russian)

8 Salimova T.A., Syryamina L.V. Competitiveness of products as a result of consumer orientation. *Prakticheskij marketing* [Practical marketing]. 2007. no. 6. Available at: https://www.cfin.ru/press/practical/2007–06/04.shtml (in Russian)

9 Lillrank P., Kano N. Continuous improvement: quality control circles in Japanese industry. Michigan papers in japanese studies 19. Ann Arbor, The University of Michigan Center for Japanese Studies, 1989, 294 p.

10 H. Simon. Strategy in competition. B. Jain Publishers (P) Ltd, 2008.

11 Porter M.E. Competitive strategy: techniques for analyzing industries and competitors. New York, Free Press, 1980.

12 Ruidong C. Research on employer brand evalution index system based on Kano model [D]. Shandong, Shandong University of Finance and Economics, 2013.

13 Lin F-H, Tsai S-B, Lee Y-C, Hsiao C-F et al. Empirical research on Kano's model and customer satisfaction. PLOS ONE. 2017. vol. 12. no. 9. Available at: https://doi.org/10.1371/journal.pone.01838

14 Yuelin Hu. Study on the user auditory experience on mobile terminal based on Kano model. *Vestnik MGUP imeni Ivana Fedorova* [Vestnik MGUP by Ivan Fedorov]. 2016. no. 1. pp. 109–113. (in English)

15 Generalov I.G., Suslov S.A. Methodical approaches to assessing the competitiveness of organizations. *Vestnik NGIEHI* [Herald NGIEI]. 2016. no. 9 (64). pp. 31–38. (in Russian).

16 Horev A.I., Ovchinnikova T.I., Kobeleva S.V. The development of competitive innovative industries based on the intensification of labor. *Ehkonomika. Innovacii. Upravlenie kachestvom* [Economy. Innovation. Quality control]. 2014. no. 2 (7). pp. 9–16. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Мария А. Гурина к.э.н., доцент, Кафедра государственной службы и менеджмента, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Липецкий филиал, ул. Интернациональная, 3, г. Липецк, 398000, Россия, mag30@mail.ru

Юлия В. Румянцева к.э.н., доцент, Кафедра менеджмента, Липецкий государственный технический университет, ул. Московская, 30, г. Липецк, 398600, Россия, ru.lstu@gmail.com

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Мария А. Гурина предложила научную концепцию работы, написание и корректировка рукописи статьи

Юлия В. Румянцева обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела опрос, выполнила расчёты, несет ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 10.10.2018
ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 16.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Maria A. Gurina Cand. Sci. (Econ.), assistant professor, Public, municipal service and management department, Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation, Lipetsk branch, International St., 3, Lipetsk, 398000, Russia, mag30@mail.ru

Yuliya V. Rumyantseva Cand. Sci. (Econ.), associate professor, Management department, Lipetsk State Technical University, Moskovskaya St., 30 Lipetsk, 398600, Russia, ru.lstu@gmail.com

CONTRIBUTION

Maria A. Gurina suggested the scientific concept of work, writing and correction of the manuscript

Yuliya V. Rumyantseva review of literature on the problem, conducted a survey, performed calculations, is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.10.2018
ACCEPTED 11.16.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 334.021.1

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-436-440

Алгоритм обеспечения и реализации стратегии эффективного управления инновационными процессами

Мария С. Асмолова [1] asmolova.m.s@gmail.com
Сергей В. Дедов [1] generdeser@bk.ru

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Реализация стратегии эффективного управления инновационного процесса рассмотрена с позиции интеграции и существующих проблем. Выделена роль приоритетов, обосновывающих взаимосвязь уровней государственного планирования и управления инновационными процессами социально-экономических систем. Показаны содержательная часть стратегического планирования и роль инструментов, обеспечивающих достижение целей и задач инновационных процессов. Обобщена содержательная часть стратегического планирования. Результаты исследования роли инструментов определили условия по формированию инновационной инфраструктуры и перечень ее составляющих. Для проведения анализа использованы следующие инструменты: прямое государственное воздействие; единство денежно-кредитной и налогово-бюджетной политики; консолидированной политики доходов; реформирование условий, традиций и практик взаимодействия банковского и реального секторов национальной экономики. В ходе проведения анализа предлагаемой инновационной инфраструктуры алгоритма применен ретроспективный подход. Коррекция проведенного авторами анализа проведена с использованием концепции национальных инновационных систем (НИС). Сформулированные, по итогам анализа, выводы рассмотрены с авторской позиции вследствие отсутствия в научной литературе единого определения и методологии НИС. Предложен линейный вариант алгоритма, обеспечивающего и реализующего стратегию управления инновационными процессами, а также инструменты его разработки. Выделены факторы, предупреждающие проблемы при формировании системы эффективного управления, а также указано на необходимость учета особенностей положения страны, тенденций и вызовов. Приведены, на основе анализа, дополнительные условия, обеспечивающие локализацию проблем управления. Для обеспечения наибольшей результативности предложены мероприятия осуществления исследуемой стратегии эффективного управления с позиций ментальности и своевременности. Обоснован авторский алгоритм, как наиболее осуществимый в современных условиях, раскрывающий существующие взаимосвязи между субъектами инновационного процесса.

Ключевые слова: управление, инновационный процесс, алгоритм, социально-экономическая система, стратегия, вызовы

The algorithm to ensure and implement the strategy of the effective management of innovation processes

Maria S. Asmolova [1] asmolova.m.s@gmail.com
Sergey V. Dedov [1] generdeser@bk.ru

1 Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. We considered the implementation of the effective management strategy of the innovation process from the point of view of its integration and existing problems. We have marked the role of priorities that explain the interrelation of the levels of the state planning and the innovation processes management of socio-economic systems. We have shown the substantive part of the strategic planning and the role of the tools ensuring the achievement of goals and objectives of innovation processes. We have summarized the content of the strategic planning. The research results of the tools role determined the conditions of the innovation infrastructure formation and the list of its components. We used the following tools for the analysis: direct government influence; unity of monetary and fiscal policies; consolidated revenue policy; reforming of the conditions, the traditions and the practices of interaction between the banking and real sectors of the national economy. We applied a retrospective approach during the analysis of the innovation infrastructure algorithm. The authors made the correction of the analysis using the concept of national innovation systems (NIS). We made the conclusions based on the author's point of view due to the lack of a generalized definition and the methodology of the NIS in the academic literature. We proposed a lineal algorithm that provides and implements the strategy of managing the innovation processes, as well as the tools. We highlighted the factors that prevent the problems in the formation of an effective management, and we have also pointed out that it is necessary to take into account the specific conditions of the country, its trends and challenges. Based on the analysis, we named the additional features to trace the management problems. We suggested the measures to ensure the greatest effectiveness of the implementation of the effective management strategy from the standpoint of mentality and timeliness. The author's algorithm has been justified as the most feasible in the modern conditions, revealing the existing interrelations between the subjects of the innovation process.

Keywords: management, innovation process, algorithm, socio-economic system, strategy, challenges

Введение

Обеспечение устойчивого развития стало необходимым условием ответа на вызовы современного времени. В основу разработки алгоритма обеспечения и реализации стратегии эффективного управления инновационными процессами положены приоритеты, непосредственно связанные с уровнем государственного планирования и управления инновационными процессами социально-экономической системы (СЭС).

Попытки международных экономических сообществ повлиять на социально-экономическую ситуацию в стране наряду с наблюдающимся выходом из кризисной зоны позволили предпринять конкурентоспособные меры по выдвижению на первый план модернизируемых приоритетов. Среди них нами выделяются энергоэффективность и энергосбережение, а также ядерные, космические, медицинские и стратегические

Для цитирования

Асмолова М.С., Дедов С.В. Алгоритм обеспечения и реализации стратегии эффективного управления инновационными процессами // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 81. № 4. С. 436–440. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-436-440

For citation

Asmolova M.S., Dedov S.V. The algorithm to ensure and implement the strategy of the effective management of innovation processes. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 81. no. 4. pp. 436–440. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-436-440

информационные технологии. Помимо этого, можно назвать реализацию проекта «Четыре "И"» – инновации, инвестиции, институты, инфраструктура.

Сделаем акцент нами на анализе того, что уже достигнуто с позиции интеграции и формулировки проблем, которые необходимо решить для достижения целей и задач на этапе планирования мероприятий, обеспечивающих реализацию стратегии эффективного управления инновационными процессами [1, 2]. И здесь, безусловно, актуально обратиться к выводам таких ученых, как М. Бор, В. Веснин, Е. Голубков, Н. Кондратьев, П. Осадчев, Ш. Турецкий, М. Эйдельман, а также современных авторов – О. Виханского, Е. Голубкова, А. Наумова, Ж. Бадмажапова и др. [3].

Содержательная часть стратегического планирования нами обобщена и представлена в таблице 1.

Таблица 1.

Содержательная часть стратегического планирования

Table 1.

Substantive part of strategic planning

Наименование | Name	Основные принципы | Basic principles
Адаптивность Adaptability	Корректировка основного содержания документа в связи с возникающими условиями Adjustment of the main content of the document due to arising conditions
Сочетаемость Compatibility	Увязывание внешних параметров с изменяющейся внутренней средой для локализации возможных отрицательных последствий | Linking external parameters with a changing internal environment to localize possible negative consequences
Ограниченность Limitations	Установление взаимосвязи количественных значений используемых ресурсов и качественных показателей эффективности их использования | Establishing the relationship of the quantitative values of the resources used and qualitative indicators of the effectiveness of their use
Достаточность Adequacy	Реализация планируемых критериальных показателей при условии разумного использования ресурсов | Implementation of the planned criterion indicators, subject to reasonable use of resources
Паритетность | Parity	Обеспечение баланса интереса заинтересованных сторон | Balancing stakeholder interest
Упорядоченность | Orderliness	Учитывание сложного, многокомпозиционного характера развития экономики по уровням, подсистемам и объектам | Taking into account the complex, multi-compositional nature of the development of the economy by levels, subsystems and objects
Целесообразность | Feasibility	Минимизация факторов, оказывающих неблагоприятное воздействие на реализацию целей, приоритетов стратегий развития социально-экономической системы | Minimization of factors that have an adverse impact on the implementation of goals and priorities of strategies for the development of the socio-economic system

Мы поддерживаем выводы, сделанные Б. Преображенским [4], И. Рисиным и Ю. Трещевским [5], в отношении свойств СЭС – интеграции и конкуренции, а также учета инструментов, представленных М. Титовой в виде совокупности, обеспечивающих достижение наибольшего экономического эффекта для выбранной модели экономики при условии системной интеграции. Несмотря на достаточность научных работ, описывающих наиболее распространенные инструменты, а это и прямое государственное воздействие, и обеспечение единых денежно-кредитной и налогово-бюджетной политики; консолидированная политика доходов, а также, по мнению Т. Колмыковой, Э. Ситниковой, И. Третьяковой, реформирование условий, традиций и практик взаимодействия банковского и реального секторов национальной экономики [6] нами сделан вывод следующего содержания. Перечисленные инструменты обеспечивают не только реализацию процесса создания и внедрения инноваций, но и дальнейшее развитие СЭС, соответствующее вызовам, а также формирование ее инновационной инфраструктуры, позволяющей обеспечить необходимые условия и предпосылки для появления инноваций и осуществления инновационной деятельности [7]. Основными составляющими указанной инфраструктуры, как представляется, будут являться:

– наличие спроса со стороны экономики на инновации и инновационные продукты;

– государственные меры поддержки инновационных процессов;

– формирование четкого и полного правового поля для осуществления инновационных процессов;

– функционирование необходимых институтов СЭС.

Используя ретроспективный подход, проведем анализ указанных составляющих инфраструктуры: что уже сделано на сегодняшний день и что еще предстоит сделать. Коррекцию анализа проведем, используя составляющие

концепции национальных инновационных систем (НИС), а именно, основополагающие принципы эффективной инновационной экономики, алгоритм и стратегии ее управления.

Развитие концепции НИС К. Фрименом и Б. Лундваллом, а также существующие различные подходы к пониманию НИС раскрываются и рядом отечественных исследователей. Нам импонирует точка зрения Д. Кузнецова, раскрывающая понятие НИС на институциональном, открытом и системном уровнях [8]. В связи с тем, что осуществление процесса не ограничено количеством ее участников, апробированный механизм позволяет провести анализ и оценку любого количества участников или субъектов инновационных процессов [9]. Дополнительным плюсом будут ограничения по функциональным признакам (например, поочередное выделение из общего массива субъектов научно-исследовательских центров, правительственных научных и технологических организаций и структур, неформальных организаций и т. д.). Использование концепции НИС при проведении собственного анализа позволяет прогнозировать успешность осуществления инновационных процессов с учетом уровневых особенностей.

Сформулировав вариативность предлагаемых выводов, удовлетворительно описывающих выборку существующих подходов, предлагаем охарактеризовать их следующими чертами вследствие отсутствия единого определения и методологии НИС:

– нелинейность модели инновационных процессов на основе тесной взаимозависимости всех их элементов и спрос на инновации;

– непрерывность взаимодействия субъектов НИС;

– индивидуальность НИС, обусловленная историческими, социальными и другими факторами;

– многогранность применения концепции НИС, как аналитического инструмента при разработке государственной политики и осуществлении стратегического планирования.

Отдавая НИС ведущую роль, как концептуального института можно объединить все аспекты инновационных процессов под эгидой государственного уровневого воздействия. Данный подход в перспективе будет иметь огромное значение для обеспечения эффективного управления инновационными процессами СЭС с использованием соответствующего алгоритма и особенностей его построения.

На основании вышеизложенного нами предложен линейный вариант алгоритма. Инструментом его разработки определена эффективность, минимизирующая временные затраты от этапа планово-программного до принятия управленческих действий. Предусмотрен итерационный характер проводимых мероприятий для недопущения неблагоприятных последствий и выверения поставленных целей и задач (рисунок 1). С учетом особенностей нахождения нашей страны в положении реального соприкосновения с последствиями тенденций, обусловленных вызовами, констатируем необходимость учета и группирования мероприятий по принципу оптимальности. К ним отнесены: формирование культа знаний и условий для их создания; трансфер знаний и информации; применение результатов трансформации знаний и информации, обеспечивающих эскортное и экспериментальное сопровождение мероприятий (рисунок 2).



Рисунок 1. Алгоритм обеспечения и реализации стратегии эффективного управления инновационными процессами

Figure 1. Algorithm to ensure and implement the strategy of the effective management of innovation processes

Принимая во внимание важность процедуры оценки достижимости поставленных стратегией задач, предлагается учитывать факторы, предупреждающие проблемы при формировании системы эффективного управления инновационными процессами СЭС и направленные на придание легитимности ее функционирования:

– политизированность процессов стратегического планирования;

– проработанность функциональности подсистем, раскрывающих потенциал механизма по реализации целей инновационной стратегии;

– отсутствие уровневой несогласованности при планировании и управлении;

– минимизация префенциций при формировании полюсов экономического роста.

Проработка материалов, посвященных изучению существующих проблем управления, свидетельствует о необходимости продолжения исследований в связи с неоднозначностью, указанных отдельными авторами решений [10–13]. К дополнительным условиям, которые необходимо учитывать, нами отнесены дихотомичность исторических, территориальных и временных особенностей. И поскольку они, без сомнения, влияют на результативность как управленческих решений, так и проводимых мероприятий нами предлагается провести моделирование способности инновационных процессов противостоять вызовам социально-экономической системы.

Выделим тенденции в современной экономике с позиций ментальности и своевременности проведения мероприятий, направленных на повышение результативности осуществления стратегии эффективного управления инновационными процессами, предложены следующие:

– учет существующих взаимоотношений всех участников (субъектов);

– разграничение взаимодействия участвующих субъектов;

– государственная поддержка субъектов;

– формирование терминологической основы;

– уровневая приоритетность;

– упорядочение алгоритма комплексной поддержки на каждом этапе инновационного процесса.



Рисунок 2. Мероприятия, способствующие достижению целей инновационной стратегии

Figure 2. Activities that advance the objectives of the innovation strategy

ЛИТЕРАТУРА

1 О стратегическом планировании в Российской Федерации (Федеральный закон № 172-ФЗ от 28 июня 2014 года).

2 Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 г. (распоряжение правительства РФ № 1662-р от 17 ноября 2008 года).

Вариант алгоритма, предложенного как наиболее реально осуществимого в современных условиях, представлен на рисунке 3. Показанные условия в совокупности с наиболее перспективными технологиями рынков технет: aeronet; autonet и ряда других обеспечит комплексную поддержку субъектов, участвующих в инновационных процессах [11].

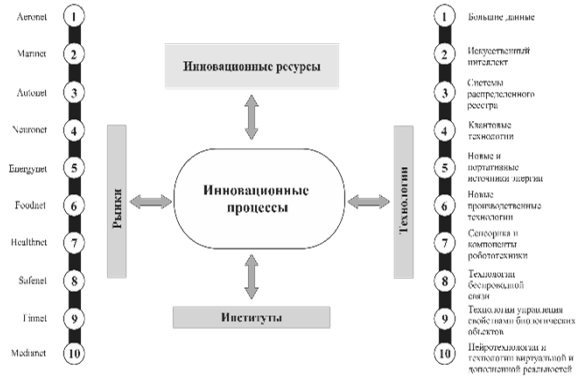


Рисунок 3. Алгоритм комплексного взаимодействия субъектов, участвующих в инновационных процессах

Figure 3. Algorithm of complex collaboration of the subjects involved in innovation processes

При рассмотрении в прикладной плоскости указанный алгоритм позволит раскрыть взаимосвязь между указанными рынками с учетом возможности противостояния их структуры внешним воздействиям, влияющим на инновационные процессы в целом и на эффективное управление инновационными процессами, в частности.

Заключение

Можно сделать вывод, что вклад от применения анализируемого алгоритма как наиболее весомого в общей стратегии эффективного управления инновационными процессами состоит в синергии институтов, рынков, инновационных ресурсов и технологий. И хотя нами отдельно не выделено в представленном алгоритме направление сервисов, к наиболее весомому из последних отнесем вызовы.

Учитывая значимость последнего влияющего фактора и степень возможных последствий для экономики страны нам представляется актуальным рассмотреть в качестве самостоятельной научной задачи способность социально-экономической системы и системы управления противостоять вызовам.

3 Бадмажапов Ж.Э. Теоретические основы стратегического планирования развития региональных отраслевых систем // Вестник ЗабГУ. 2016. Т. 22. № 2. С. 93–94.

4 Преображенский Б.Г., Глушкова М.В., Лихачева Д.Н. Системная парадигма формирования мезоэкономической политики развития (на примере субъекта федерации) // Известия Юго-западного университета. Серия: Экономика, социология, менеджмент. 2016. № 3. С. 22.

5 Вертакова Ю.В. Рисин И.Е., Трещевский Ю.И. Итерационная технология оценки условий кластеризации в региональном экономическом пространстве // Экономика и управление. 2016. № 4. С. 14.

6 Колмыкова Т.С., Ситникова Э.В., Третьякова И.Н. Кредитные ресурсы в решении задач модернизации национальной экономики // Финансы и кредит. 2015. № 1. С. 2–11.

7 Асмолова М.С., Дедов С.В. Интеграционные аспекты системы ресурсного обеспечения инновационной деятельности // Вестник ВГУИТ. 2017. № 4. С. 282–288.

8 Кузнецов Д.В. Транспортное дело России // Национальная инновационная система: проблемы дефиниции. 2009. № 9. С. 98.

9 Халтаева С.Р. Проблемы формирования интегрированной системы регионального стратегического планирования // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. 2015. № 5 (56). С. 128–129.

10 Barrett H.C., Berry J.W. Socio-Economic Environment and Human Psychology: Social, Ecological, and Cultural Perspectives; edited by Üskül A.K., Oishi S. Oxford University Press, 2018.

11 Frank A.U. Socio-economic units: Their life and motion // Life and motion of socio-economic units. 2014. P. 27-41.

12 O'Neill B.C. et al. The roads ahead: narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century // Global Environmental Change. 2017. V. 42. P. 169–180.

13 Popp A. et al. Land-use futures in the shared socio-economic pathways // Global Environmental Change. 2017. V. 42. P. 331–345.

14 Балдов Д.В., Суслов С.А. Методика расчета уровня продовольственной безопасности // Вестник НГИЭИ. 2016. № 1 (56). С. 13–26.

15 Хорев А.И., Овчинникова Т.И., Пахомов А.И., Кобелева С.В. Методические подходы к анализу экономической безопасности инновационно-инвестиционных проектов в продовольственном комплексе // Вестник ВГУИТ. 2013. № 4 (58). С. 241–254.

REFERENCES

1 O strategicheskom planirovanii v Rossijskoj Federacii [On Strategic Planning in the Russian Federation (Federal Law No. 172-FZ of June 28, 2014)] (in Russian).

2 Koncepciya dolgosrochnogo social'no-ehkonomicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii na period do 2020 g [The concept of long-term socio-economic development of the Russian Federation for the period up to 2020 (Order of the Government of the Russian Federation No. 1662-r of November 17, 2008)]. (in Russian).

3 Badmazhapova Zh.E. Theoretical foundations of strategic planning to develop regional sectoral systems. *Vestnik ZabGU* [Bulletin ZabGU]. 2016. vol. 22. no. 2. pp. 93–94. (in Russian).

4 Preobrazhensky B.G., Glushkova M.V., Likhacheva D.N. The system paradigm of the formation of mesoeconomic development policy (by the example of the subject of the federation). *Izvestiya Yugo-zapadnogo universiteta. Seriya: Ehkonomika, sociologiya, menedzhment* [News of the South-Western University. Series: Economics, Sociology, Management]. 2016. no. 3. pp. 22. (in Russian).

5 Vertakova Yu.V., Risin I.E., Treschevsky Yu.I. Iterative method to assess the conditions of clustering in the regional economic space. *Ehkonomika i upravlenie* [Economics and Management]. 2016. no. 4. pp. 14. (in Russian).

6 Kolmykova T.S., Sitnikova E.V., Tretyakova I.N. Credit resources in solving the problems of modernization of the national economy. *Finansy i kredit* [Finance and credit]. 2015. no. 1. pp. 2–11. (in Russian).

7 Asmolova M.S., Dedov S.V. Integration aspects of the system of resource support of innovation activity. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2017. no. 4. pp. 282–288. (in Russian).

8 Kuznetsov D.V. Transport of Russia. *Nacional'naya innovacionnaya sistema: problemy definicii* [National Innovation System: Definition Problems]. 2009. no. 9. pp. 98. (in Russian).

9 Khaltayeva S.R. Problems of formation of an integrated system of regional strategic planning. *Vestnik Vostochno-Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologij i upravleniya* [Vestnik of the East-Siberian State University of Technology and Management]. 2015. no. 5 (56). pp. 128–129. (in Russian).

10 Barrett H.C., Berry J.W. Socio-Economic Environment and Human Psychology: Social, Ecological, and Cultural Perspectives; edited by Üskül A.K., Oishi S. Oxford University Press, 2018.

11 Frank A.U. Socio-economic units: Their life and motion. Life and motion of socio-economic units. 2014. pp. 27–41.

12 O'Neill B.C. et al. The roads ahead: narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. Global Environmental Change. 2017. vol. 42. pp. 169–180.

13 Popp A. et al. Land-use futures in the shared socio-economic pathways. Global Environmental Change. 2017. vol. 42. pp. 331–345.

14 Baldov D.V., Suslov S.A. Metodika rascheta urovnya prodovol'stvennoj bezopasnosti. *Vestnik NGIEHI* [Herald NGIEI]. 2016. no. 1 (56). pp. 13–26. (in Russian).

15 Horev A.I., Ovchinnikova T.I., Pahomov A.I., Kobeleva S.V. Methodical approaches to the analysis of economic security of innovative investment projects in the food industry. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2013. no. 4 (58). pp. 241–254. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Мария С. Асмолова соискатель, кафедра управления, организации производства и отраслевой экономики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, asmolova.m.s@gmail.com

Сергей В. Дедов соискатель, кафедра управления, организации производства и отраслевой экономики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, generdeser@bk.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Maria S. Asmolova applicant, management, organization of production and branch economy department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, asmolova.m.s@gmail.com

Sergey V. Dedov applicant, management, organization of production and branch economy department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394066, Russia, generdeser@bk.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Мария С. Асмолова обзор литературных источников по исследуемой проблеме

Сергей В. Дедов написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

CONTRIBUTION

Maria S. Asmolova review of the literature on an investigated problem

Sergey V. Dedov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 04.10.2018
ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 16.11.2018

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 1.4.2018
ACCEPTED 11.16.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 360

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-441-451

Теоретические и практические подходы к формированию собственного капитала для развития предпринимательской деятельности

Лев Я. Аврашков [1] ekonomika310@mail.ru
Галина Ф. Графова [1] grafova_gf@mail.ru
Андрей В. Графов [1] grafav@mail.ru
Светлана А. Шахватова [1] ssha76@mail.ru

[1] Российская академия народного хозяйства и государственной службы, ул. Интернациональная, 3, г. Липецк, 398001, Россия

Аннотация. Статья посвящена вопросам методологии формирования и оптимизации собственного капитала фирмы. В рыночной экономике финансовая стабильность фирмы, зависящая от финансового состояния, является одним из важнейших факторов жизнедеятельности фирмы и развития предпринимательской деятельности. Положительное финансовое состояние определяет конкурентоспособность фирмы на рынке. Также оно помогает в сотрудничестве с кредиторами в финансовом аспекте. Финансовое состояние демонстрирует возможность организации финансировать деятельность собственными средствами, а также рационально распоряжаться ими во взаимоотношениях с другими лицами. Поэтому цель любой фирмы – сохранять стабильное, устойчивое финансовое состояние и достижение прибыли. Наиболее важным для развития фирмы является формирование и наращивание собственного капитала. Авторы рассматривают различные методические подходы к формированию собственного капитала фирмы. Традиционная позиция формирования собственного капитала и его оптимизации находит место в бухгалтерском учете, также в специальной экономической литературе. Однако, при изучении различных подходов к определению конечного результата финансово-хозяйственной деятельности фирмы, подобная трактовка вызывает серьезные *возражения.* Начальным этапом управления формированием капитала фирмы является определение потребности в необходимом его объеме. Оптимизация общей потребности в капитале фирмы достигается различными методами, позволяющими в итоге достичь положительного результата деятельности фирмы. В статье уделено внимание направлениям в сфере обеспечения принятия оперативных управленческих решений по выбору источников финансирования хозяйственной деятельности фирм с позиции обеспечения достаточного уровня платежеспособности и повышению эффективности использования капитала. Сформулированы основные этапы процесса оптимизации капитала фирмы.

Ключевые слова: прибыль, собственный капитал, внеоборотные активы, оборотные активы, амортизация

Theoretical and practical approaches to the formation of equity for the development of entrepreneurial activity

Lev Ya. Avrashkov [1] ekonomika310@mail.ru
Galina F. Grafova [1] grafova_gf@mail.ru
Andrey V. Gtafov [1] grafav@mail.ru
Svetlana A. Shakhvatova [1] ssha76@mail.ru

[1] The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration,International St., 3 Lipetsk, 398001, Russia

Abstract. The article is devoted to the methodology of formation and optimization of the company's equity. In a market economy, the financial stability of the firm, depending on the financial condition, is one of the most important factors in the life of the firm and the development of entrepreneurial activity. A positive financial condition determines the competitiveness of the company in the market. It also helps in cooperation with creditors in the financial aspect. The financial condition demonstrates the ability of the organization to Finance activities with its own funds, as well as to manage them rationally in relations with other persons. Therefore, the goal of any company – to maintain a stable, stable financial condition and profit. The most important for the development of the company is the formation and increase of equity capital. The article deals with various methodological approaches to the formation of the company's equity. The traditional position of equity formation and its optimization is found in accounting, as well as in the special economic literature. However, in the study of different approaches to determining the final result of financial and economic activities of the company, such interpretation raises serious objections. The initial stage of capital formation management of the company is to determine the need for the required amount. Optimization of the total capital requirement of the company is achieved by various methods, which eventually allow to achieve a positive result of the company. The article focuses on the areas in the field of ensuring the adoption of operational management decisions on the choice of sources of financing of economic activities of firms from the position of ensuring a sufficient level of solvency and improving the efficiency of capital use. The main stages of the optimization process of the capital of the company)

Keywords: profit, equity, non-current assets, current assets, depreciation

Для цитирования

Аврашков Л.Я., Графова Г.Ф., Графов А.В., Шахватова С.А., Теоретические и практические подходы к формированию собственного капитала для развития предпринимательской деятельности // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 441–451. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-441-451

For citation

Avrashkov L.Ya., Grafova G. F., Grafov A.V., Shakhvatova S.A. Theoretical and practical approaches to the formation of equity for the development of entrepreneurial activity. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 441–451. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-441-451

Введение

На сегодняшний день достаточно большое количество фирм находится в сложном финансовом положении в силу того, что внимание органов государственной власти в ходе экономических реформ было сосредоточено в большей мере на проведении рыночной макроэкономической политики, о чем свидетельствует динамика финансового результата фирм (таблица 1).

С 2005 по 2007 гг. совокупная прибыль российских фирм увеличилась с 3226 до 6041 млрд р. В результате кризиса 2008 г. сальдо финансового результата отечественных фирм снизилось более чем на 30% по сравнению с предыдущим годом. До 2012 г. сохранялась стабильная ситуация с тенденции сальдо финансового результата отечественных фирм к росту. Сложными для российской экономики стали 2013 и 2014 гг., когда сальдо финансового результата сокращалось, практически каждая третья фирма в это время являлась убыточной. В 2015 г. наметилась положительная тенденция, выраженная в росте сальдо финансового результата, однако негативным моментом было сохранение высокой доли убыточных фирм. В связи с чем наблюдались низкие показатели рентабельности фирм, что свидетельствует о низкой эффективности деятельности (таблица 2).

Таблица 1.

Динамика финансового результата фирм **(**без субъектов малого предпринимательства**)** по Российской Федерации

Table 1.

Dynamics of financial results of firms (without small businesses) in the Russian Federation

Период Period	Сальдо прибылей и убытков, млрд р. Balance of profit and loss, billion rubles	В % к предыдущему году % to the previous year	Сумма прибыли млрд р. Amount of profit RUB bln	Удельный вес прибыльных организаций**,** % Specific weight of profitable entities, %	Сумма убытка млрд р. Amount of loss billion roubles	Удельный вес убыточных организаций**,** % Share of unprofitable organizations, %
2005	3226	129,8	3674	63,6	448	36,4
2006	5722	177,4	6085	67,5	363	32,5
2007	6041	105,6	6412	74,5	371	25,5
2008	3801	69,1	5354	71,7	1553	28,3
2009	4432	124,1	5852	68,0	1420	32,0
2010	6331	144,1	7353	70,1	1022	29,9
2011	7140	114,2	8794	70,0	1654	30,0
2012	7824	110.8	9213	70.9	1389	29,1
2013	6854	82,7	9519	69,0	2665	31,0
2014	4347	68,2	10465	67,0	6118	33,0
2015	7503	173,6	12654	67,4	5151	32,6
2016	12801	157,0	15823	70,5	3022	29,5
2017	10320	91,5	12276	73,7	1956	26,3

Таблица 2.

Динамика рентабельности фирм **(**без субъектов малого предпринимательства**)** по Российской Федерации

Table 2.

Dynamics of profitability of firms (without small businesses) in the Russian Federation

Период Period	Рентабельность активов, % Return on assets, %	Рентабельность проданных товаров, продукции, работ, услуг**,** % Profitability of goods, products, works and services sold, %
2005	8,8	13,5
2006	12,2	13,2
2007	10,4	13,1
2008	5,4	13,0
2009	5,5	10,8
2010	6,7	10,0
2011	6,5	9,6
2012	6,1	8,6
2013	4,5	7,0
2014	2,5	7,3
2015	3,7	8,1
2016	5,9	7,6
2017	5,3	7,5

Однако в современных экономических условиях сложилась такая тенденция, что каждый экономический субъект является частью рыночных отношений, которые заинтересованы в бесперебойной работе данного субъекта. Поэтому каждая фирма должна следить и правильно организовывать свою предпринимательскую деятельность. В связи с этим необходимо контролировать ведение финансово-хозяйственной деятельности.

Необходимо рассмотреть пути оптимизации капитала и финансового результата деятельности фирмы. Цель исследования – введение нового экономического показателя «чистый доход» вместо «чистая прибыль».

Теоретические основы исследования

При проведении анализа финансово-хозяйственной деятельности нет системного подхода и глубины исследования. Данный анализ необходимо осуществлять с пониманием объекта, который исследуется специалистом. Исследуемый объект (фирма) должна рассматриваться как некая сложная система, которая имеет свою сложную структуру и элементы, а не просто проведены расчеты базовых показателей, которые будут не взаимосвязаны между собой. Только тогда можно говорить о полном анализе финансово-хозяйственной деятельности, который повысит экономическую безопасность фирмы.

Из системного подхода вытекает еще одна проблема, которая связана с плановостью. Многие руководители фирм не считают важным планировать свою деятельность. Однако план является основой экономической безопасности предприятия. Любая финансово-хозяйственная деятельность должна проводиться систематически и иметь четкий план действия. Планируя финансово-хозяйственную деятельность, фирма предупреждает неблагоприятный исход нежелательных ситуаций (форс мажоров).

Часто специалисты сталкиваются с такой распространенной проблемой, как недостаточность информации. Это может быть связано с неквалифицированными специалистами, которые сталкиваются с незнанием теоретического материала, в связи с чем не понимают важность процесса ведения финансово-хозяйственной деятельности. Недостаточность информации может быть обусловлена неполнотой или неточностью заполнения бухгалтерской (финансовой) отчетности.

Если первая проблема неквалифицированных специалистов решается просто, то неправильность бухгалтерской (финансовой) отчетности является важной и трудно решаемой задачей. Часто фирмы занижают показания прибыли и увеличивают свои расходы, чтобы избежать уплаты высоких налогов. Существует обратная сторона, когда фирма завышает показатели, чтобы показать сверхприбыль, высокую рентабельность или ликвидность. В связи с этим часто при анализе финансово-хозяйственной деятельности выявляется несопоставимость некоторых показателей.

Экономической целью предпринимательской деятельности является получение прибыли, фирма является центром привлечения и аккумуляции капитала, обеспечивая его прирост.

Рассмотреть сущность прибыли можно с различных сторон. Наиболее распространенным является рассмотрение сущности прибыли с точки зрения функций и происхождения прибыли.

Прибыль как одну из форм реализации собственности на капитал рассматривает марксисткая теория. Согласно марксистской теории труд является единственным товаром, стоимость которого выше затрат на его приобретение, и капиталист извлекает из этого прибавочную стоимость, т. е. разницу между издержками производства рабочей силы и ее реальной стоимостью. В отечественной экономической теории долгое время считалось, что единственным источником прибыли является труд. Концепция прибавочного труда наиболее наглядно демонстрирует себя в такой ситуации, когда предприниматель купил и перепродал товар, получив при этом прибыль. Ее источником, естественно, является труд данного предпринимателя.

Как можно увидеть из опыта государства с развитой экономикой, могут существовать и другие варианты получения прибыли. В большинстве случаев она представляет собой результат реализации (производства) продукта (услуги), основанного на привлечении нескольких факторов, прежде всего труда и капитала. Более того, понятие прибыли связано не только со стоимостью используемого капитала, но и с его амортизацией и с периодом, в течение которого происходит эта амортизация.

Отсюда можно сделать вывод о том, что прибыль представляет собой экономическую категорию, отражающую дополнительный доход, созданный в сфере экономической деятельности. Это результат сочетания различных факторов производства: труда, капитала, природных ресурсов, предпринимательских способностей. В комплексе они приносят финансовый эффект, который называется прибылью.

Основоположником функционального подхода выступает американский экономист П. Самуэльсон. Он считал, что прибыль это безусловный доход от факторов производства; вознаграждение за предпринимательскую деятельность, технические нововведения и улучшения, за способность принимать риски в условиях неопределенности; монопольный доход в определенных рыночных ситуациях; этическая категория.

Сторонники немецкой экономической школы (Ф. Хайек, Д. Сахал) рассматривают прибыль с точки зрения ее происхождения, а именно как «вознаграждение», полученное в рамках предпринимательской инициативы; прибыль «неожиданная», полученная в благоприятных рыночных условиях и обстоятельствах, признанная государственной властью или соответствующим законодательством (легализованная).

Прибыль как экономическая категория отражает чистый доход, который создан в сфере материального производства в процессе предпринимательской деятельности.

Формирование прибыли представляет собой процесс, который является, по сути, производственно-хозяйственной деятельностью фирмы, основанной на использовании различных факторов, к которым относят:

– создание нового уровня технического состояния, что напрямую зависит от технической оснащенности фирмы;

– получение сверхприбыли, особенно в топливно-энергетическом комплексе, которую называют экономической рентой;

– неодинаковую величину трендов нормы прибыли российских фирм;

– модель поведения фирмы, которая определяется степенью влияния персонифицированных субъектов, взаимодействием и взаимосвязями их целей, интересов, способов накопления прибыли;

– стремление максимизировать прибыль. При этом крупные фирмы не учитывают социальную функцию бизнеса, не несут социальной ответственности перед обществом;

– существующую систему налогообложения прибыли, которая не стимулирует фирму к ее росту.

Как результат, прибыль определяет эффективность использования имеющихся ресурсов, успех (неудачу) в бизнесе, рост (уменьшение) объема деятельности. В качестве количественного показателя прибыль является разницей между ценой и стоимостью товаров, между продажами и стоимостью (в сфере обращения – между доходами от продаж и расходами на реализацию). Прибыль, являющаяся конечным результатом деятельности организации, создает условия для ее расширения, развития, самофинансирования и повышения конкурентоспособности. По мере развития экономической теории определение термина «прибыль» постоянно уточнялось из простейшего определения – как дохода, полученного от производства и продажи любого товара, до понятия чистой прибыли.

На сегодняшний день он характеризуется с точки зрения двух уровней: микро- и макроэкономического. Расчет прибыли с использованием существующей методологии на макро- и микроуровне отличается. На уровне фирмы расчет связан с процессом образования и на государственном уровне с определением места прибыли в доходах страны. Если фирма является прибыльной (при нормальных условиях управления), то она показывает, что покупатель, приобретая товар этого конкретного производителя, получает удовлетворение от покупки (когда у него есть выбор), а государство (общество) может за счет налогов на прибыль поддерживать убыточные объекты, решать приоритетные социальные проблемы.

Методология исследования

В процессе ведения хозяйственной деятельности возникают ситуации, когда фирма не получает прибыли, используя оборотные активы безрезультатно, или даже производит убытки. Но для стабильно функционирующей фирмы такие ситуации носят временный, эпизодический характер, которые не меняют главного предназначения фирмы – формирование массы прибыли.

Производя прибыль, фирма наращивает капитал, повышает уровень капитализации, рационально размещает финансы, что дает теоретическую возможность исполнить свои финансовые обязательства. Но зачастую могут возникать варианты, когда финансовые средства нельзя быстро или без экономических потерь привлечь для обеспечения расчетов по обязательствам, например, когда финансы размещены нерационально.

Следовательно, проблема неисполнения финансовых обязательств в значительной мере связана с размещением и использованием ресурсов (капитала). Рассмотрим основные этапы происхождения и размещения капитала.

1. Первым условием образования и функционирования фирмы является наличие первоначального собственного капитала.

2. При недостаточной величине собственного капитала фирма берет на себя определенные обязательства в виде банковских кредитов, займов третьих лиц, кредиторской задолженности. Общая сумма всех взятых обязательств образует заемные средства, находящиеся в распоряжении предприятия.

3. Собственный средства (капитал) и заемные средства (обязательства) представляют собой совокупный капитал или пассивы (по бухгалтерской терминологии). Если средства были переданы предприятию на безвозмездной основе, то они относятся на собственный капитал фирмы.

За счет собственного капитала приобретается имущества фирмы или, если обратиться к бухгалтерской терминологии, формируется актив баланса.

Если рассматривать заемный капитал как основной источник структуры капитала, в числе его преимуществ следует выделить, прежде всего, большие возможности привлечения займов (при условии хорошей кредитной истории), возможность повышения рентабельности собственного капитала и финансового потенциала фирмы. В то же время избыток заемных средств в структуре капитала снижает прибыльность бизнеса и может повлечь за собой такие угрозы, как риск снижения финансовой устойчивости, потеря платежеспособности.

Данные плюсы и минусы элементов структуры капитала подтверждаются результатами корреляционного анализа зависимости структуры источников средств от ряда факторов финансового состояния предприятия. Структура капитала фирмы отрицательно коррелирует с его прибыльностью и ликвидностью его активов. Кроме того, подтверждено, что в развивающихся странах осязаемые активы компании отрицательно коррелируют с его отношением долга (высокий уровень материальных активов – не гарантия для кредиторов в случае дефолта заемщика). С другой стороны, размер фирмы и оборачиваемость активов положительно коррелируют с уровнем задолженности. Эмпирические результаты исследования подтверждают теорию иерархии, в соответствии с которой прибыльное предприятие с высоким уровнем ликвидности будет иметь пониженный уровень долга (таблица 3).

Таблица 3.

Динамика коэффициента платежеспособности фирм (без субъектов малого предпринимательства) по Российской Федерации

Table 3.

Dynamics of solvency ratio of firms (without small businesses) in the Russian Federation

Период Period	Коэффициент текущей ликвидности, % Return on assets, %	Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами, % Factor of availability of own working capital, %	Коэффициент автономии, % Current liquidity ratio, %
2005	122,2	-12,5	56,2
2006	123,7	-13,3	57,1
2007	130,7	-10,5	55,9
2008	129,2	-14,1	50,5
2009	129,4	-18,8	51,6
2010	134,3	-14,1	52,4
2011	136,2	-17,8	50,8
2012	128.1	-25.5	48,2
2013	125,3	-30,7	45,3
2014	121,1	-41,2	40,1
2015	126,6	-42,6	39,9
2016	124,7	-42,2	42,5
2017*	152,8	-95,1	49,8

Актив формируют внеоборотные и оборотные активы. Внеоборотные активы состоят из основных средств, нематериальных активов, финансовых вложений сроком свыше одного года, прочих внеоборотных активов. К оборотным активам относятся:

- запасы – сырье и материалы, незавершенное производство, готовая продукция на складе (которая еще не реализована и, следовательно, не принесла прибыли) и др.;
- средства в расчетах – продукция и услуги, которые отгружены или оказаны, но расчет по которым еще не произведен, т. е. средства, которые фирма предоставила в долг другим организациям, своим дебиторам. Сюда также относятся выданные авансы, ссуды работникам предприятия, краткосрочные финансовые вложения, средства в банке на расчетном и валютном счетах и в кассе предприятия.

Размещение капитала, т. е. состояние финансов фирмы, фиксируется на определенную дату. Такое одновременное отражение активов и пассивов представляет собой бухгалтерский баланс фирмы на определенную дату, при этом сумма активов всегда равна сумме пассивов.

Величина собственного оборотного капитала формируется разностью между суммой собственного капитала фирмы и стоимостью внеоборотных активов.

Зачастую наблюдается такая ситуация, как отсутствие у фирмы собственного оборотного капитала, что свидетельствует о том, что оборотные средства фирмы полностью формируются за счет заемных источников. Очевидно, что набольшую устойчивость с позиций платежеспособности будет иметь предприятие, у которого доля собственного оборотного капитала в общей сумме оборотных средств высока.

В процессе производственного цикла капитал находится в движении.

При этом:

- происходит износ и обновление основных производственных фондов (обновление основных средств относится к разряду долгосрочных финансовых вложений);
- формируется прибыль за счет оборотных средств в той их части, которая находится в производстве;
- средства в расчетах – это та часть оборотных средств, которая систематически отвлекается на текущее обслуживание производства или на осуществление иных финансовых вложений;
- цикл от вложений капитала в производство в виде запасов до реализации продукции формирует оборот предприятия.

В результате оборота у фирмы образуется выручка, которая включает следующие компоненты:

– компенсацию произведенных затрат на производство, также включается и погашение обязательств;

– учтенные при формировании цены косвенные налоги и обязательные платежи в бюджет и внебюджетные фонды;

– норму прибыли.

Следовательно, прибыль формируется разностью выручки от продаж (реализации) продукции (работ, услуг), прочих доходов от операционной и внереализационной прибыли и всеми видами затрат и убытков. Эта прибыль до налогообложения, из которой в дальнейшем осуществляется уплата налога на прибыль и других обязательных платежей.

Остаток прибыли после вычета налога на прибыль составляет свободную для экономического маневра чистую прибыль предприятия.

Чистая прибыль представляет собой основную потенциальную возможность увеличения собственного капитала (прибыль на накопление).

В современных экономических реалиях эта возможность реализуется лишь частично, так как за счет прибыли осуществляются безвозвратные расходы – выплата дивидендов, формирование фондов материального поощрения, фонды социального назначения и т. д. (направление прибыли на потребление). Нераспределенная прибыль формируется как разница между чистой прибылью и безвозвратными расходами.

Увеличение (прирост) собственного капитала фирмы возможно осуществить за счет той части чистой прибыли, которая расходуется на накопление (нераспределенная прибыль), т. е. пополняет основные и оборотные средства.

Такая позиция формирования собственного капитала и его увеличения находит место в бухгалтерском учете, также в специальной экономической литературе. Однако при изучении различных подходов к определению конечного результата финансово-хозяйственной деятельности предприятия, по мнению авторов, подобная трактовка вызывает серьезные возражения.

Если к конечному финансовому результату отнести только показатель чистой прибыли, то общепризнанная теория формирования собственного капитала в бухгалтерском учете находит свое подтверждение.

Однако в реальной финансово-хозяйственной деятельности фирмы в качестве итогового конечного финансового результата выступает не «чистая прибыль», а показатель – «чистый доход».

Принципиальные отличия в формировании этих показателей проявляются в нижеследующем. Основным источником информации о результатах финансово-хозяйственной деятельности фирмы является «Отчет о финансовых результатах» (форма № 2), входящий в состав бухгалтерской отчетности и утвержденный Приказом Минфина России от 02.07.2010 г. № 66н (ред. от 06.04.2015 г.) «О формах бухгалтерской отчетности организаций».

Конечный финансовый результат – чистая прибыль $П_ч$ – формируется как итог четырех разделов «Отчета о финансовых результатах» (форма № 2), представляющих различные источники (виды деятельности) образования прибыли:

$$П_ч = \left(П_р + П_о + П_{вд} - Н_п\right) + П_{чо}, \qquad (1)$$

где $П_р$ – прибыль от реализации товаров, продукции, работ, услуг; $П_о$ – прибыль от операционной деятельности; $П_{вд}$ – прибыль от внереализационной деятельности; $Н_п$ – налог на прибыль и иные аналогичные обязательные платежи; $П_{чо}$ – прибыль по чрезвычайным обстоятельствам.

Как правило, получение прибыли от чрезвычайных обстоятельств – это нетипичная ситуация для российских фирм, поэтому обычно величина чистой прибыли формируется прибылью от основной и иных видов деятельности и определяется как разность между суммой всех видов прибыли и налогом на прибыль и отчислениями в качестве обязательных платежей. В свою очередь, каждый из вышеобозначенных видов прибыли определяется как разность соответствующих видов доходов (Д) и расходов (Р).

Следовательно, основным источником формирования прибыли является деятельность по производству и реализации продукции, работ, услуг, которая рассчитывается следующим образом:

$$П_р = В – С, \quad (2)$$

где В – выручка (нетто) от реализации товаров, продукции, работ, услуг (за вычетом НДС, акцизов и т. п.); С – себестоимость реализованных товаров, продукции, работ, услуг с учетом коммерческих и управленческих расходов.

При этом возникают сомнения в объективности оценки полученных результатов финансово-хозяйственной деятельности предприятия.

По мнению авторов, при оценке эффективности производственно-хозяйственной деятельности фирмы следует ориентироваться на сальдо денежного потока (потока реальных денег) за отчетный или плановый период.

В зарубежной практике при анализе финансово-хозяйственной деятельности показатель «чистый доход» является одним из главных критериев для принятия решения о финансировании инвестиционного проекта. В российской практике данный критерий применяется при расчетах согласно «Методическим рекомендациям по оценке эффективности инвестиционных проектов», утвержденным Минэкономики, Минфином, Госстроем РФ 21.06.1999 г. № ВК 477.Чистый доход или сальдо потока реальных денег согласно вышеуказанным методическим рекомендациям определяется как разность между притоком, равным размеру денежных поступлений (результатов в стоимостном выражении), и оттоком, т. е. платежами отчетного периода.

Размер денежных поступлений (приток), главным образом, формируется выручкой (нетто) от реализации продукции, товаров, работ, услуг (без НДС и акцизов).

Как правило, приток от иных видов деятельности незначителен.

В структуре расходов наиболее значимы материальные затраты, к которым относятся:

– расходы на оплату приобретенных и использованных в производственном цикле материальных ресурсов различных видов;

– расходы, связанные с содержанием персонала (заработная плата и отчисления во внебюджетные фонды);

– уплата налогов, процентов по кредитам и займам и др.

Кроме того, в состав платежей отчетного периода (оттока денежных средств) входят расходы по внереализационной деятельности и чрезвычайные расходы.

Можно выявить отличие показателя «чистый доход» (сальдо потока реальных денег) от показателя «чистая прибыль», которое заключается в различных подходах к формированию прибыли от реализации продукции, которые находят отражение в отчете о финансовых результатах. Рассмотрим эту ситуацию более подробно.

Прибыль от реализации продукции определяется по формуле

$$П_р = В – МЗ – ЗП – А, \quad (3)$$

где МЗ – сумма всех материальных затрат за вычетом возвратных отходов; ЗП – величина заработной платы с учетом отчислений во внебюджетные фонды; А – сумма амортизационных отчислений.

Сальдо денежного потока от реализации продукции может быть рассчитано по формуле

$$СДП_р = В – (МЗ + ЗП) = П_р + А. \quad (4)$$

Принимая в расчет прибыль (убыток) от операционной и внереализационной деятельности, а также при наличии прибыли (убытка) по чрезвычайным обстоятельствам можно сформулировать параметры расчета сальдо денежного потока от производственного-хозяйственной деятельности в целом (чистый доход):

$$ЧД = П_ч + А. \quad (5)$$

Таким образом, к наиболее объективным критериям оценки финансового результата хозяйствующего субъекта следует отнести чистый доход, который формируется суммой чистой прибыли и амортизационных отчислений.

Анализ результатов исследования

Несмотря на то что амортизационные отчисления являются одним из элементов экономической составляющей себестоимости продукции, они не включаются в состав денежного оттока, не являются объектом налогообложения, и фирма может использовать их в полном объеме.

Целевое назначение амортизационных отчислений – финансирование воспроизводства основных фондов за счет чего осуществляется:

– текущий и капитальный ремонт основных производственных фондов;

– реновация основных производственных фондов;

– инновационная деятельность предприятия, направленная на приобретение новых видов нематериальных активов.

Эти направления использования амортизационных отчислений наиболее актуальны в условиях стабильно развивающейся экономики, поскольку для успешного развития фирмы и обеспечения устойчивого финансового состояния необходимо своевременно модернизировать основные производственные фонды. Величина амортизационных отчислений достаточно велика (таблица 4), но в нынешних кризисных условиях многие фирмы убыточны или низкорентабельны, поэтому вынуждены направлять амортизационные отчисления на другие цели, в первую очередь, на пополнение собственных оборотных средств.

Таким образом, по мнению авторов, более объективном представляется включение в формирование собственного капитала статьи «Нераспределенный чистый доход», в которую следует включить нераспределенную прибыль (фонд накопления) и амортизацию.

В таблице 5 представлено формирование чистого дохода.

Таблица 4.

Амортизация основных фондов, начисленная за отчетный год в коммерческих организациях (без субъектов малого предпринимательства)

Table 4.

Depreciation of fixed assets accrued for the reporting year in commercial organizations (without small businesses)

Период | Period	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
млрд р. | bln RUR												
Все основные фонды	1043	1270	1542	1907	2349	2669	3148	3665	4179	4752	5298	5863
В процентах к наличию основных фондов на начало отчетного года по полной учетной стоимости As a percentage of the availability of fixed assets at the beginning of the reporting year at full book value												
Все основные фонды All fixed assets	4,7	5,2	5,7	5,9	6,3	6,1	6,6	6,5	6,6	6,7	6,5	6,6

Таблица 5.

Формирование чистого дохода, тыс. р.

Table 5.

Formation of net income, thousand RUR

Показатели | Indicators	Условные обозначения Convention	Расчетные значения Calculated value
Выручка от продаж | Proceeds from sales	В	2800
Себестоимость продаж, в том числе: Cost of sales, including:	С	2400
– материальные затраты | material costs	МЗ	1000
– зарплата работников | salary of workers	ЗП	908
– отчисления на социальные нужды | eductions on social needs	ОСН	272
– амортизация | depreciation	А	200
– прочие затраты | other costs	ПЗ	20
Прибыль от продаж | Profit on sales	Пп	400 = 2800–2400
Налог на прибыль | Profit tax	$Н_п$	80 = 400·0,2
Чистая прибыль | Net profit	$П_ч$	320 = 400–80
Сальдо денежного потока от реализации продукции Cash flow balance from sales	$СДП_р$	2800-(1000 + 908 + +272) = 620
Чистый доход | Net income	ЧД	320 + 200 = 520

Таким образом, чистый доход превышает величину чистой прибыли на величину амортизационных отчислений, что является наиболее объективным критерием оценки финансового результата хозяйствующего субъекта.

Принципиальное отличие данной классификации собственного капитала от традиционной – это замена экономической категории «чистая прибыль» на категорию «чистый доход», что предполагает увеличение массы собственного капитала, высокий темп прироста за счет включения в собственный капитал суммы амортизационных отчислений. Также это является положительным фактором при оценке финансово-хозяйственной деятельности, поскольку снижает порог неплатежеспособности и финансовой зависимости предприятия.

При этом если нераспределенная прибыль нулевая или фирма имеет убытки, то и в этом случае будет иметь место реальное увеличение собственного капитала в случае превышения амортизационных отчислений над суммой убытков.

Таким образом, основным источником исполнения обязательств фирмы является выручка, которая содержит:

– сумму ранее произведенных затрат;

– резерв в виде нераспределенного дохода предприятия.

Необходимо принятие управленческих решений для возможности использования выручки частично или в полном объеме на погашение обязательств предприятия. В связи с этим необходимо совершенствовать методологию и практическое применение планирования выручки от реализации, ее распределения, т. е. прогнозировать денежные потоки под строгим квалифицированным контролем финансового менеджмента предприятия, поскольку большинство фирм в реальных экономических условиях расходую выручку нерационально, руководствуясь сиюминутными потребностями, что во многих случаях является первопричиной неплатежеспособности предприятий.

Общая стратегия прогнозирования денежных потоков должна включать следующие позиции.

1. Прогнозирование выручки от основной деятельности.

2. Мобилизация внутренних резервов и за их счет прогнозирование прироста дополнительной выручки (прирост).

3. Лимитирование текущих издержек предприятия.

4. Принятие новых обязательств в размерах, пропорциональных прогнозируемой величине выручки.

4. Согласование прогнозируемого объема выручки с объемом текущих обязательств.

5. Распределение выручки с учетом погашения обязательств, предусматривая возможность формирования некоторых резервов.

Сформируем перечень возможных мобилизованных резервов из активов предприятия, которые могут дать существенный прирост источника расчетов по обязательствам:

– продажа основных фондов, которые не используются в производстве, но требуют текущих расходов на свое содержание;

– проведение анализа эффективности долгосрочных и краткосрочных финансовых вложений, которые имеют смысл, если один рубль таких вложений приносит больше дохода, чем один рубль, потраченный на получение чистой прибыли;

– анализ объемов готовой продукции на складе и их оптимизация;

– анализ и реализация невостребованных в производственном цикле материальных запасов и товаров;

– жесткий контроль сроков дебиторской задолженности.

Заключение

Представляется очевидным, что неплатежеспособность прямо пропорциональна объему обязательств.

Традиционно абсолютно платежеспособным является предприятие, у которого отсутствуют обязательства и финансово-хозяйственная деятельность ведется за счет собственных средств. Но обязательства у фирмы есть всегда, например, по налогам или платежам во внебюджетные фонды, следовательно, их отсутствие говорит об исполнении обязательств авансом, и в этом случае вопрос о том, платежеспособно ли предприятие, не возникает.

Есть и противоположная ситуация: фирма имеет собственный капитал в размере минимально установленного законодательством уставного фонда и работает за счет заемных средств, но остается платежеспособным, т. е. многое решает выручка от продаж (объем реализации).

Таким образом, неплатежеспособность обратно пропорциональна выручке, т. е. чем меньше выручка от продаж, тем выше уровень неплатежеспособности (при наличии обязательств).

Если за анализируемый период темп роста выручки отстает от темпа роста обязательств, то у фирмы есть предпосылки к неплатежеспособности.

Следовательно, для стабильного ведения хозяйственной деятельности и экономической безопасности фирмы очень важно правильно организовывать финансово-хозяйственную деятельность организации в части формирования собственного капитала, прогнозирования и рационального использования выручки от реализации. Проблемы, возникающие при организации финансово-хозяйственной деятельности, часто связаны с недостаточно развитой системой финансового менеджмента, которая не требует больших финансовых вложений, а лишь внимательности и серьезного подхода к ведению бизнеса.

Благодаря правильному ведению финансово-хозяйственной деятельности фирмы и вовремя проведенному анализу, фирма может предвидеть кризисные ситуации и избежать банкротства либо потери части активов, что наиболее важно для поддержания экономической безопасности предприятия. Поэтому необходимо уметь правильно и качественно прогнозировать и организовывать финансово-хозяйственную деятельность предприятия, ведь от вовремя проведенного качественного финансово-хозяйственного анализа зависит процветание и развитие бизнеса.

ЛИТЕРАТУРА

1 Аврашков Л.Я., Графова Г.Ф., Графов А.В., Шахватова С.А. Инновационно-инвестиционная деятельность предприятий. Москва, 2015.

2 Аврашков Л.Я., Графова Г.Ф., Графов А.В., Шахватова С.А Экономика организаций (фирмы): учебное пособие для магистров. Москва, 2014. 264 с.

3 Carp A., Mirea M. Profitability As The Form Of Communication Of The Value Of An Entity That Works For Profit // Romanian Statistical Review. 2017. V. 65 (6). P. 192–199.

4 Laurens C., Arnt V. The impact of home-country institutions and competition on firm profitability // International Business Review. 2016. V. 25 (4). P. 831–846.

5 Alexandru C.G. Company Profitability Analysis Using Rates // Annals – Economy Series. 2016. V. 1. P. 114–116.

6 Tabak B.M., Fazio D.M., Ely R.A., Amaral J.M.T. et al. The effects of capital buffers on profitability: An empirical study // Economics Bulletin, AccessEcon, 2017. V. 37 (3). P. 1468–1473.

7 Huang T.-H., Chiang D.-L., Chung-I. A new approach to estimating a profit frontier using the censored stochastic frontier model // The North American Journal of Economics and Finance. 2017. V. 39 (C). P. 68–77.

8 Vroom G. Ownership structure, profit maximization, and competitive behavior. 2010. 42 p.

9 İltaş Y., Erdoğan S. Impact of Working Capital Requirement on Profitability: A Sectoral Analysis // Business and Economics Research Journal. 2017. V. 8 (3). P. 433–452.

10 Serghiescu L., Videan V.-L. Determinant factors of the capital structure of a firm – an empirical analysis // Procedia Economics and Finance. 2014. V. 15. P. 1447–1457.

11 Мишина З.А. Современные проблемы эффек-тивного развития малого и среднего бизнеса в России // Вестник НГИЭИ. 2017. № 10 (77). С. 126–133.

12 Дубиновский М.З., Балдов Д.В. Административно-территориальное управление продовольственной безопасностью // Вестник НГИЭИ. 2017. № 8 (75). С. 48–55.

13 Хорев А.И., Морковина С.С., Соколинская Ю.М. Факторы кризисного развития малого предпринимательства // Вестник ВГУИТ. 2015. № 1 (63). С. 223–228.

14 Хорев А.И. и др. Факторы и инструменты управления организационным бизнес-развитием. Воронеж: Научная книга, 2009. 206 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Лев Я. Аврашков д.э.н., профессор, кафедра экономики и финансов, Российская академия народного хозяйства и государственной службы, ул. Интернациональная, 3, г. Липецк, 398001, Россия, ekonomika310@mail.ru

REFERENCES

1 Avrashkov L., Grafova G., Grafov A., Shakhvatova S. Innovacionno-investicionnaya deyatel'nost' predpriyatij [Innovative investment activity of enterprises]. Moscow, 2015. (in Russian).

2 Avrashkov L., Grafova G., Grafov A., Shakhvatova S. Ehkonomika organizacij (firmy) [Economics of organizations (firms): textbook masters]. Moscow, 2014. 264 p. (in Russian).

3 Carp A., Mirea M. Profitability As The Form Of Communication Of The Value Of An Entity That Works For Profit. Romanian Statistical Review. 2017. vol. 65 (6). pp. 192–199.

4 Laurens C., Arnt V. The impact of home-country institutions and competition on firm profitability. International Business Review. 2016. vol. 25 (4). pp. 831–846.

5 Alexandru C.G. Company Profitability Analysis Using Rates. Annals – Economy Series. 2016. vol. 1. pp. 114–116.

6 Tabak B.M., Fazio D.M., Ely R.A., Amaral J.M.T. et al. The effects of capital buffers on profitability: An empirical study. Economics Bulletin, AccessEcon, 2017. vol. 37 (3). pp. 1468–1473.

7 Huang T.-H., Chiang D.-L., Chung-I. A new approach to estimating a profit frontier using the censored stochastic frontier model. The North American Journal of Economics and Finance. 2017. vol. 39 (C). pp. 68–77.

8 Vroom G. Ownership structure, profit maximization, and competitive behavior. 2010. 42 p.

9 İltaş Y., Erdoğan S. Impact of Working Capital Requirement on Profitability: A Sectoral Analysis. Business and Economics Research Journal. 2017. vol. 8 (3). pp. 433–452.

10 Serghiescu L., Videan V.-L. Determinant factors of the capital structure of a firm – an empirical analysis. Procedia Economics and Finance. 2014. vol. 15. pp. 1447–1457.

11 Mishina Z.A. Modern problems of effective development of small and medium business in Russia. *Vestnik NGIEHI* [Herald NGIEI]. 2017. no. 10 (77). pp. 126–133. (in Russian).

12 Dubinovskij M.Z., Baldov D.V. Administrative and territorial management of food security. *Vestnik NGIEHI* [Herald NGIEI]. 2017. no. 8 (75). pp. 48–55. (in Russian).

13 Horev A.I., Morkovina S.S., Sokolinskaya Yu.M. Factors of the crisis development of small business. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2015. no. 1 (63). pp. 223–228. (in Russian).

14 Horev A.I. et al. Faktory i instrumenty upravleniya organizacionnym biznes-razvitiem [Factors and tools for managing organizational business development]. Voronezh: Nauchnaya kniga, 2009. 206 p. (in Russian).

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Lev Ya. Avrashkov Dr. Sci. (Econ.), professor, economics and Finance department, The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, International St., 3 Lipetsk, 398001, Russia, ekonomika310@mail.ru

Галина Ф. Графова д.э.н., профессор, кафедра экономики и финансов, Российская академия народного хозяйства и государственной службы, ул. Интернациональная, 3, г. Липецк, 398001, Россия, grafova_gf@mail.ru
Андрей В. Графов д.э.н., профессор, кафедра экономики и финансов, Российская академия народного хозяйства и государственной службы, ул. Интернациональная, 3, г. Липецк, 398001, Россия, grafav@mail.ru
Светлана А. Шахватова к.э.н., доцент, кафедра экономики и финансов, Российская академия народного хозяйства и государственной службы, ул. Интернациональная, 3, г. Липецк, 398001, Россия, ssha76@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Лев Я. Аврашков консультация в ходе исследования
Галина Ф. Графова обзор литературных источников по исследуемой проблеме
Андрей В. Графов выполнил расчёты
Светлана А. Шахватова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 01.09.2018
ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 16.11.2018

Galina F. Grafova Dr. Sci. (Econ.), professor, economics and Finance department, The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, International St., 3 Lipetsk, 398001, Russia, grafova_gf@mail.ru
Andrey V. Gtafov Dr. Sci. (Econ.), professor, economics and Finance department, The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, International St., 3 Lipetsk, 398001, Russia, grafav@mail.ru
Svetlana A. Shakhvatova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, economics and Finance department, The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, International St., 3 Lipetsk, 398001, Russia, ssha76@mail.ru

CONTRIBUTION

Lev Ya. Avrashkov consultation during the study
Galina F. Grafova review of the literature on an investigated problem
Andrey V. Gtafov performed computations
Svetlana A. Shakhvatova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.1.2018
ACCEPTED 11.16.2018

Краткое сообщение/Short message

УДК 338.1

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-452-455

Устойчивое развитие как альтернативная цель экономических субъектов в современном обществе

Майя И. Львова [1] minlvova@mail.ru
Татьяна В. Бакунова [2] tatyana.bakunova@mail.ru
Татьяна А. Кольцова [3] tak72@mail.ru

[1] Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», ул. Мира, д.19,г. Екатеринбург,620002, Россия
[2] Тюменский государственный университет, ул. Володарского, 6, г. Тюмень, 625003, Россия

Аннотация. В статье рассматривается содержание категории "устойчивое развитие". Через понимание признаков устойчивого развития обосновываются цели экономических субъектов, определяются направления трансформации экономической системы в соответствии с целями устойчивого развития. Целью современного общества является все большее извлечение прибыли. Современный кризис обнаруживает пределы извлечения прибыли: рынки становятся глобальными, и дальнейшее расширение производства невозможно, ограниченными становятся и кредитные возможности по расширению спроса, которые, в свою очередь, ограничиваются относительно снижающимися доходами населения. При кажущемся улучшении качества жизни, росте ВВП и прочих показателей недовольство современной экономикой возрастает. Поскольку отказаться от привычных целей довольно сложно, должно происходить преломление целей экономических субъектов под давлением общественного интереса. Выразителем общественного интереса является государство, а инициатива должна исходить от самого массового субъекта, способного своим поведением направить экономическое развитие в новое русло – это домохозяйства и индивиды, включая самозанятых лиц. Ориентация домашних хозяйств, каждого человека не на максимизацию полезности, а на гармоничное созидание – вот цель устойчивого развития. В соответствии с этой целью пропадает зависимость от постоянного увеличения и поддержания уровня дохода, необходимость интенсификации труда, высокой зависимости от уровня развития технологии. В заключении авторы делают предположение, что смена курсора социально-экономического развития общества в направлении обеспечения устойчивого развития предполагает отказ от крупного бизнеса, возможное введение полной или частичной политики протекционизма, полный государственный контроль за отраслями естественных монополий (электроэнергетика, ЖКХ, транспорт и др.), выдвижение в качестве критериев оценки развития не стоимостных показателей развития производства и роста капитала, а показателей сохранения биосферы и удовлетворенности индивида условиями жизни.

Ключевые слова: рыночная экономика, устойчивое развитие, экономический рост, прибыль, домашние хозяйства государство

Sustainable development as an alternative goal of economic actors in modern society

Mayya I. Lvova [1] minlvova@mail.ru
Tatyana V. Bakunova [2] tatyana.bakunova@mail.ru
Tatyana A. Koltsova [3] tak72@mail.ru

[1] Ural Federal University. the first President of Russia B. N. Yeltsin, Mira St. 19, 620002, Ekaterinburg
[2] Tyumen state University, Volodarskogo street, 6, Tyumen, 625003, Russia

Abstract. The article deals with the content of the category "sustainable development". Through the understanding of the signs of sustainable development, the goals of economic entities are substantiated, the directions of transformation of the economic system in accordance with the goals of sustainable development are determined. The goal of modern society is to make more and more profit. The current crisis reveals the limits of profit: markets are becoming global, and further expansion of production is impossible, and credit opportunities to expand demand are becoming limited, which, in turn, are limited by the relatively declining incomes of the population. With the apparent improvement in the quality of life, GDP growth and other indicators, dissatisfaction with the modern economy increases. Since it is quite difficult to abandon the usual goals, the goals of economic entities should be refracted under the pressure of public interest. The spokesman of the public interest is government, but the initiative must come from the mass of the subject, able by his behavior to steer economic development in a new direction is households and individuals, including the self-employed. Orientation of households, each person is not on the maximization of utility, and harmonious creation is the goal of sustainable development. In accordance with this goal, there is no dependence on the constant increase and maintenance of income, the need to intensify labor, high dependence on the level of technology development. In conclusion, the authors suggest that the change of the socio-economic development of society in the direction of sustainable development involves the abandonment of big business, the possible introduction of full or partial policy of protectionism, full state control over the branches of natural monopolies (electricity, utilities, transport, etc.), the nomination as criteria for assessing the development of non-cost indicators of production and capital growth, and indicators of preservation of the biosphere and individual satisfaction with living conditions. Click to enter "Abstract"

Keywords: market economy, sustainable development, economic growth, profit, households

Для цитирования
Львова М.И., Бакунова Т.В., Кольцова Т.А. Устойчивое развитие как альтернативная цель экономических субъектов в современном обществе // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 452–455. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-452-455

For citation
Lvova M.I., Bakunova T.V., Koltsova T.A. Sustainable development as an alternative goal of economic actors in modern society. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 452–455. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-452-455

В условиях кризиса экономической системы, обнаружившей пределы экономического роста, все более актуальным становится рассмотрение экономических процессов и явлений с позиции развития. Современный кризис актуализировал дискуссии о содержании и целях развития рыночной экономики.

Общеизвестно, что рыночный механизм эффективен: каждый предприниматель, стремясь к получению максимальной прибыли, улучшает качество товаров и удовлетворяет потребности индивидов. Данная система, конечно, имеет свои ограничения в развитии, поскольку источники постоянного роста прибыли со временем исчерпываются. Классики экономической науки отмечали это: «Понижение нормы прибыли выражает убывающее отношение самой прибавочной стоимости ко всему авансированному капиталу, и потому оно независимо от какого бы то ни было распределения этой прибавочной стоимости между различными категориями» [1, с. 205].

Целью современного общества является все большее извлечение прибыли. Современный кризис обнаруживает пределы извлечения прибыли: рынки становятся глобальными, и дальнейшее расширение производства невозможно, ограниченными становятся и кредитные возможности по расширению спроса, которые, в свою очередь, ограничиваются относительно снижающимися доходами населения. При кажущемся улучшении качества жизни, росте ВВП и прочих показателей недовольство современной экономикой возрастает. Гэлбрейт Дж.К. писал: «Немногие подвергнут сомнению мысль о том, что одной из причин, вызывающих недовольство современной экономикой, являются противоречивые результаты ее функционирования. Сейчас такое недовольство не в новинку» [2, с. 43].

Конечно, смена цели экономической системы – процесс длительный и нелинейный. Однако вопрос об альтернативных целях рынка все-таки возникает. Обзор экономических исследований современных авторов и классиков обнаруживает довольно широкий спектр таких альтернативных целей – от устранения частной собственности до построения экономики счастья.

Довольно большая роль в современных исследованиях отводится категории «устойчивое развитие». Возникает вопрос: а может ли устойчивое развитие выступать в качестве цели общества? Изначально устойчивое развитие понималось как система поиска баланса между производственной и экологической системами общества, но в настоящее время устойчивое развитие рассматривается гораздо шире. Приведем некоторые определения данной категории.

М.Г. Юсупова рассматривает «устойчивое развитие как процесс установления гармоничных отношений между человеком, обществом и природой, что обеспечивает выживание и непрерывный прогресс общества, не разрушая окружающую природную среду» [3, с. 125], выделяя в качестве ключевого признака устойчивого развития гармонизацию отношений в системе «человек – природа».

О.Н. Марганова, О.В. Емельянова опираются на определение, данное А.Г. Велиевым: «Устойчивое развитие – это развитие, создающее условия представителям нынешнего и следующих поколений для проявления своих способностей и удовлетворения жизненных потребностей. Оно базируется на экономике, гармонично сочетающейся с принципами экологической безопасности и социальной справедливости в демократическом обществе, соблюдающем права человека» [4, с. 79]. Данный подход расширяет признаки устойчивого развития, включая социальную справедливость и права человека.

Обобщающий подход предложен в работах Д.В. Пресняковой и О.В. Комаровой: устойчивое развитие рассматривается как процесс изменения хозяйственной системы, имеющей потенциал самоорганизации и саморазвития и определяющей целенаправленное движение в настоящем и прогнозируемом будущем. Хозяйственную систему региона в процессе исследования с определенной степенью точности можно считать квазиорганизацией, состоящей, в свою очередь, из множества подсистем разного уровня, взаимосвязанных между собой в процессе функционирования. Число уровней подсистем, получаемых в результате расчленения системы, зависит от степени ее сложности и размеров, а также от выбранных признаков, в соответствии с которыми осуществляется расчленение этой системы по иерархии Л. Эйлера. Для обеспечения устойчивости и саморегулирования в условиях изменяющейся внешней среды региональный хозяйственный комплекс должен иметь определенный потенциал развития по наиболее значимым параметрам, к формированию которых должен применяться системный подход [5, с. 131; 6, с. 6].

Таким образом, целью устойчивого развития является не получение прибыли, а гармоничное развитие всех сфер общества. Для конкретизации целей развития обратимся к признакам устойчивого развития.

М.О. Подпругин выделяет два основных признака такого развития – антропоцентрический и биосфероцентрический: «под антропоцентрическим признаком …понимается выживание человечества (страны) и способность (возможность) его дальнейшего непрекращающегося (устойчивого), непрерывно долгого развития… Биосфероцентрический (экологический) признак понятия связан с сохранением биосферы как естественной основы всей жизни на Земле», а значит «формирование хозяйственной деятельности, не разрушающей биосферу» [7, с. 135].

В результате проведенного анализа возникает вопрос: если цели общества в целом понятны и обществом осознаны, то каковы должны быть целевые установки каждого экономического субъекта (мелкого или крупного) и какое место должна занимать прибыль в этой системе целей? Поскольку отказаться от привычных целей довольно сложно, особенно в условиях неоднородности экономического развития стран, взаимной зависимости экономик, тем не менее, должно происходить преломление целей экономических субъектов под давлением общественного интереса. Выразителем общественного интереса является государство, но и оно не свободно в выборе целей развития, поэтому инициатива должна исходить от самого массового субъекта, способного своим поведением направить экономическое развитие в новое русло – это домохозяйства и индивиды, включая самозанятых лиц.

Ориентация домашних хозяйств, каждого человека не на максимизацию полезности, а на гармоничное созидание – вот цель устойчивого развития. В соответствии с этой целью пропадает зависимость от постоянного увеличения и поддержания уровня дохода, необходимость интенсификации труда, высокой зависимости от уровня развития технологии.

Однако проблема переориентации бизнеса на новые цели остается. И в этом случае ключевой проблемой является наличие крупных монополизированных структур на рынках, поскольку малый и средний бизнес в силу ограничения эффекта масштаба не может снижать издержки, увеличивать выпуск и оказывать воздействие на рыночную цену, в этом случае цены вновь приобретают характер рыночных сигналов [9–12].

Таким образом, смена курсора социально-экономического развития общества в направлении обеспечения устойчивого развития предполагает отказ от крупного бизнеса, возможное введение полной или частичной политики протекционизма, полный государственный контроль за отраслями естественных монополий (электроэнергетика, ЖКХ, транспорт и др.), выдвижение в качестве критериев оценки развития не стоимостных показателей развития производства и роста капитала, а показателей сохранения биосферы и удовлетворенности индивида условиями жизни.

ЛИТЕРАТУРА

1 Маркс К. Капитал. Критика политической экономии. М.: Политиздат, 1983. 3883 с.

2 Гэлбрейт Дж.К. Экономические теории и цели общества: пер с англ. М.: Прогресс, 1976. 408 с.

3 Юсупова М.Г. Теоретические подходы к определению устойчивого развития // Приоритетные научные направления: от теории к практике. 2013. № 5. С. 123–127.

4 Марганова О.Н., Емельянова О.В. К вопросу об экономических механизмах устойчивого развития // Новый университет. Серия «Экономика и право». 2014. № 7–8 (41–42). С. 79–83.

5 Преснякова Д.В. О дефинициях «устойчивость» и «устойчивое развитие» в экономической науке // Социально-экономические явления и процессы. 2011. № 8. С. 129–132.

6 Комарова О.В., Саламатова Т.А., Гаврилов Д.Е. Проблемы развития ремесленничества, малого и среднего бизнеса и среднего класса: монография. Екатеринбург: Издательство РГППУ, 2012. 163 с.

7 Подпругин М.О. Понятия устойчивости и устойчивого развития в современной экономической науке // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2012. № 6. С. 133–139.

8 Колесова Ю.Н. Стратегия устойчивого развития сельских территорий // Молодой ученый. 2015. № 8. С. 392–394. URL: https://moluch.ru/archive/88/17626/

9 Wanner T. The new ‘passive revolution’of the green economy and growth discourse: maintaining the ‘sustainable development’of neoliberal capitalism // New Political Economy. 2015. V. 20. №. 1. P. 21-41.

10 Tran H.T. Institutional quality and market selection in the transition to market economy // Journal of Business Venturing. 2018. doi: 10.1016/j.jbusvent.2018.07.001

11 Puffer S.M., Braithwaite K. The Russian Management Revolution: Preparing Managers for a Market Economy: Preparing Managers for a Market Economy. Routledge, 2016.

12 Carpenter J.N., Whitelaw R.F. The development of China's stock market and stakes for the global economy // Annual Review of Financial Economics. 2017. V. 9. P. 233–257.

13 Аверкин М.Г. Анализ досуговых форм социальной деятельности человека в современном коммуникативном пространстве города // Вестник НГИЭИ. 2016. № 7 (62). С. 160–168.

14 Воронов Н.А., Грибков М.В., Удалов О.Ф. Управление: теоретическо-концептуальный и информационный аспекты // Вестник НГИЭИ. 2016. № 5 (60). С. 105–111.

15 Хорев А.И., Овчинникова Т.И., Кобелева С.В. Развитие конкурентоспособных инновационных производств на основе интенсификации труда // Экономика. Инновации. Управление качеством. 2014. № 2 (7). С. 9-16.

REFERENCES

1 Marx K. Kapital. Kritika politicheskoj ehkonomii [Capital. Criticism of political economy]. Moscow, Politizdat, 1983. 3883 p. (in Russian).

2 Galbraith J.K. Ehkonomicheskie teorii i celi obshchestva [Economic theory and goals of society]. Moscow, Progress, 1976. 408 p. (in Russian).

3 Yusupova M.G. Theoretical approaches to the definition of sustainable development. *Prioritetnye nauchnye napravleniya: ot teorii k praktike* [Priority scientific directions: from theory to practice]. 2013. no. 5. pp. 123–127. (in Russian).

4 Morgunova O.N., Emelyanova O.V. To the question about the economic mechanisms of sustainable development. *Novyj universitet. Seriya "Ehkonomika i parvo"* [New University. Series "Economics and law"]. 2014. no. 7–8 (41–42). pp. 79–83. (in Russian).

5 Presnyakova D.V. Definitions of "stability" and "sustainable development" in economic science. *Social'no-ehkonomicheskie yavleniya i processy* [Socio-economic phenomena and processes]. 2011. no. 8. pp. 129–132. (in Russian).

6 Komarova O.V., Salamatova T.A., Gavrilov D.E. Problemy razvitiya remeslennichestva, malogo i srednego biznesa i srednego klassa [Problems of development of Handicrafts, small and medium-sized businesses and the middle class: monograph] Ekaterinburg, Publishing house of RSVPU, 2012. 163 p. (in Russian).

7 Podprugin M.O. The concept of sustainability and sustainable development in the modern economic science. *Aktual'nye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk* [Actual problems of humanitarian and natural Sciences]. 2012. no. 6. pp. 133–139. (in Russian).

8 Kolesova Yu.N. Strategy of sustainable development of rural areas. *Molodoj uchenyj* [Young scientist]. 2015. no. 8. pp. 392–394. Available at: https://moluch.ru/archive/88/17626/ (in Russian).

9 Wanner T. The new 'passive revolution'of the green economy and growth discourse: maintaining the 'sustainable development'of neoliberal capitalism. New Political Economy. 2015. vol. 20. no. 1. pp. 21-41.

10 Tran H.T. Institutional quality and market selection in the transition to market economy. Journal of Business Venturing. 2018. doi: 10.1016/j.jbusvent.2018.07.001

11 Puffer S.M., Braithwaite K. The Russian Management Revolution: Preparing Managers for a Market Economy: Preparing Managers for a Market Economy. Routledge, 2016.

12 Carpenter J.N., Whitelaw R.F. The development of China's stock market and stakes for the global economy. Annual Review of Financial Economics. 2017. vol. 9. pp. 233–257.

13 Averkin M.G. Analysis of leisure forms of social human activity in the modern communicative space of the city. *Vestnik NGIEHI* [Herald NGIEI]. 2016. no. 7 (62). pp. 160–168. (in Russian).

14 Voronov N.A., Gribkov M.V., Udalov O.F. Management: theoretical, conceptual and informational aspects. *Vestnik NGIEHI* [Herald NGIEI]. 2016. no. 5 (60). pp. 105–111. (in Russian).

15 Horev A.I., Ovchinnikova T.I., Kobeleva S.V. Development of competitive innovative industries based on labor intensification. *Ehkonomika. Innovacii. Upravlenie kachestvom* [Economy. Innovation. Quality control]. 2014. no. 2 (7). pp. 9-16. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Майя И. Львова к.э.н., доцент, кафедра финансов, денежного обращения и кредита, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, ул. Мира, 19, г. Екатеринбург,620002, Россия, minlvova@mail.ru

Татьяна В. Бакунова к.э.н., доцент, кафедра финансов, денежного обращения и кредита, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, ул. Мира, 19, г. Екатеринбург,620002, Россия, tatyana.bakunova@mail.ru

Татьяна А. Кольцова к.э.н., доцент, кафедра экономической безопасности, учета, анализа и аудита, Тюменский государственный университет, ул. Володарского, 6, г. Тюмень, 625003, Россия, tak72@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 01.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 16.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Mayya I. Lvova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, finance, money circulation and credit department, Ural Federal University. the first President of Russia B. N. Yeltsin, Mira St. 19, 620002, Ekaterinburg, Russia, minlvova@mail.ru

Tatyana V. Bakunova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, finance, money circulation and credit department, Ural Federal University. the first President of Russia B. N. Yeltsin, Mira St. 19, 620002, Ekaterinburg, Russia, tatyana.bakunova@mail.ru

Tatyana A. Koltsova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, economic security, accounting, analysis and audit department, Tyumen state University, Volodarsky str., 6, Tyumen, 625003, Russia, tak72@mail.ru

CONTRIBUTION

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.1.2018

ACCEPTED 11.16.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 332.8

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-456-462

Разработка программы комплексного развития коммунальной инфраструктуры

Татьяна К. Руткаускас [1] tatiana.k.rut@yandex.ru
Екатерина В. Шукшина [1] shukshina.ekaterina93@yandex.ru

[1] Российский государственный профессионально-педагогический университет, ул. Машиностроителей,11, г. Екатеринбург, 620000, Россия

Аннотация. Коммунальные услуги важная часть жизнеобеспеченности населения. Качество и надежность предоставления коммунальных услуг определяет уровень жизни населения. Предоставление качественных услуг населению является одним из индикаторов развития региона. Именно поэтому так важно грамотно спрогнозировать и разработать Программы, влияющие на показатели оказания коммунальных услуг. Главной составляющей успешного развития жилищно-коммунальной сферы является грамотная управленческая среда. Управление в коммунальном хозяйстве представляет собой процесс достижения субъектами управления поставленных целей и заявленных задач, посредством реализации мероприятий над объектами управления. Для реализации этих мероприятий и повышения уровня предоставляемых услуг разрабатываются Программы комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры территории. Программа комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры представляет собой механизм реализации полномочий муниципальных образований в сфере обеспечения потребителей качественными и доступными коммунальными услугами, а также ключевой документ, определяющий вектор развития инженерной инфраструктуры на долгосрочную перспективу (в соответствии со сроком действия генерального плана). Реализация программ комплексного развития коммунальной и социальной инфраструктуры является механизмом осуществления Стратегии развития жилищно-коммунального хозяйства в Российской Федерации. Разработка программ комплексного развития систем коммунальной и социальной инфраструктуры необходима для обеспечения ресурсосбережения, формирования рыночных механизмов функционирования жилищно-коммунального комплекса, повышения уровня качества и доступности услуг здравоохранения и образования Выявлены определяющие признаки, на которые стоит обратить внимание при разработке Программы, учесть их и ключевые особенности каждой территории. Путем реализации заложенных в Программу мероприятий, является возможным достижение высоких показателей уровня жизни, качества коммунальных услуг и максимального уровня доступности услуг в жилищно-коммунальной сфере.

Ключевые слова: жилищно-коммунальная сфера, реформирование, управление, методы, факторы, комплекс мероприятий, разработка, особенности, надежность, качество

The development of the program of complex development of communal infrastructure

Tatiana K. Rutkauskas [1] tatiana.k.rut@yandex.ru
Ekaterina V. Shukshina [1] shukshina.ekaterina93@yandex.ru

[1] Russian state vocational pedagogical University, Mashinostroiteley str., 11, Ekaterinburg, 620000, Russia

Abstract. Utilities are an important part of the population's livelihood. The quality and reliability of public services determines the standard of living of the population. The provision of quality services to the population is one of the indicators of the region's development. That is why it is so important to correctly predict and develop Programs that affect the performance of public services. The main component of the successful development of housing and communal services is a competent management environment. Management in the municipal economy is a process of achieving the objectives and stated objectives by the subjects of management, through the implementation of measures on the objects of management. To implement these measures and improve the level of services provided, programs are being developed for the integrated development of municipal infrastructure systems in the territory. Program of complex development of systems of municipal infrastructure is a mechanism for the implementation of the powers of municipalities in the field of providing consumers with quality and affordable utilities, as well as a key document that determines the vector of development of engineering infrastructure in the long term (in accordance with the term of the master plan). The implementation of programs for the integrated development of municipal and social infrastructure is a mechanism for the implementation Of the strategy for the development of housing and communal services in the Russian Federation. Development of programs of complex development of systems of municipal and social infrastructure is necessary for ensuring resource saving, formation of market mechanisms of functioning of housing and communal complex, increase of level of quality and availability of services of health care and education the defining signs which should be paid attention at development of the Program, to consider them and key features of each territory are Revealed. Through the implementation of the measures included in the Program, it is possible to achieve high standards of living, the quality of public services and the maximum level of availability of services in the housing and communal sector.

Keywords: housing and communal services, reformation, management, methods, factors, set of measures, development, features, safety, quality

Для цитирования

Руткаускас Т.К., Шукшина Е.В. Разработка программы комплексного развития коммунальной инфраструктуры // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 456–462. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-456-462

For citation

Rutkauskas T.K., Shukshina E.V. The development of the program of complex development of communal infrastructure. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 456–462. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-456-462

Жилищно-коммунальное хозяйство является одной из основных составляющих успешной экономики страны, именно поэтому неотъемлемой частью всех муниципалитетов является развитие этой отрасли.

Особенность развития жилищно-коммунального хозяйства обусловлена его социальной и экономической значимостью, а также сложной системой взаимосвязей хозяйствующих субъектов и потребителей услуг, в первую очередь, населения.

Кризисное состояние жилищно-коммунальной отрасли, проблемы реформирования и модернизации в настоящее время по-прежнему актуальны.

К слабым сторонам жилищно-коммунального хозяйства можно отнести:

• недостаточное развитие коммунальных систем для обеспечения возрастающих потребностей общества, в том числе связанных с новым строительством;

• неравномерное распределение коммунальных мощностей, приводящее к неэффективному использованию ресурсов;

• низкое качество предоставляемых жилищно-коммунальных услуг;

• низкий уровень инвестиционной привлекательности отрасли;

• высокий физический износ коммунальной и инженерной инфраструктуры;

• низкая эффективность работы объектов внешнего благоустройства и инженерного оборудования;

• неразвитость инфраструктуры в сфере обращения с ТКО;

• неудовлетворительное техническое состояние очистных сооружений, полный физический износ оборудования.

Низкое качество предоставляемых услуг ЖКХ – это комплексная проблема, которая включает в себя изношенность коммунальных фондов и недостаток мощностей. Старые коммуникации (водопровод, канализация, газопровод, электросети) работают неэффективно, с большими энергозатратами и потерями ресурсов, которые включены в тариф, а следовательно, и оплачиваются потребителями. По всем видам жилищно-коммунальных предприятий Свердловской области степень износа основных фондов превышает среднероссийский уровень. Самый высокий уровень износа наблюдается на предприятиях, осуществляющих производство, передачу и распределение пара и горячей воды (тепловой энергии) – 59,0% (показатель по Российской Федерации – 43,4%). Уровень износа на предприятиях, осуществляющих работы по сбору, очистке и распределению воды составляет 56,1% (по Российской Федерации – 55,3%); удалению сточных вод и отходов – 51,8% (по Российской Федерации – 37,2%); управлению жилым фондом – 46,6% (по Российской Федерации – 27,4%); управлению нежилым фондом – 31,1% (по Российской Федерации – 22,1%) (постановление Правительства Свердловской области от 22 12 2008 г. № 1354-ПП «О концепции реформирования жилищно-коммунального комплекса Свердловской области на 2009–2020 годы»).

На отдельных территориях качество поставляемых услуг не соответствует установленным стандартам и нормативам (например, несоответствующие характеристики воды).

Растущие потребности жителей в энергоносителях превосходят заложенный потенциал мощности сетей на многих территориях. Большая нагрузка приводит к сбоям в процессе эксплуатации и отключениям.

Одним из основных документов территории, ориентированной на рост социального уровня жизни населения, устранения проблем коммунальной инфраструктуры, является «Программа комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры».

«Программа комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры» (далее – Программа) представляет собой механизм реализации полномочий муниципальных образований в сфере обеспечения потребителей качественными и доступными коммунальными услугами.

Помимо этого, Программа – это документ, отражающий основные направления деятельности органов управления в коммунальной сфере.

Разработка Программы производится на основе генерального плана развития муниципального образования, схем теплоснабжения, водоснабжения, водоотведения, газоснабжения и т. д., а также муниципальных программ.

На данный момент существуют методические рекомендации по разработке Программы, общие для всех территорий. Следует помнить, что каждому муниципалитету при формировании Программы стоит рассматривать ее с учетом его специфических особенностей.

Именно поэтому нами была разработана классификация территорий с учетом их особенностей на примере Свердловской области.

Основываясь на вышеуказанных нормативно-правовых актах, выделяем такой классификационный признак, как численность населения.

Все анализируемые муниципальные образования распределены в 6 типологических групп по численности населения:

1 группа – до 10 000 чел.;

2 группа – от 10 001 до 30 000 чел.;

3 группа – от 30 001 до 50 000 чел.;

4 группа – от 50 001 до 100 000 чел.;

5 группа – от 100 001 до 500 000 чел.;

6 группа – свыше 500 001 чел. – муниципальное образование «город Екатеринбург», выполняющий функции административного центра субъекта РФ.

Безусловно, данный признак является значимым критерием при разработке Программы, так как играет важную роль при планировке застройки территории, а, следовательно, подключения абонентов к вновь проложенным сетям.

При застройке территории, прокладке коммунальных сетей, подключении новых абонентов необходимо точно знать динамику численности населения, плотность застройки территории, чтобы грамотно рассчитать строительство объектов коммунальной инфраструктуры. Мероприятия по реконструкции, модернизации и постройке отражаются в Программе. Формируя Программу, разработчик должен основываться на генеральном плане и схемах, действующих на территориях, в которых также отражены ключевые мероприятия, реализуемые на территории в ближайшее время. Именно поэтому необходимо планомерно актуализировать Программы в зависимости от численности населения, учитывая уровень миграции населения, динамику роста населения или его снижения.

Например, по данным Управления федеральной службы государственной статистики по Свердловской и Курганской области в январе-сентябре 2017 г. в Свердловской области:

– родилось 40,2 тыс. детей (88,1% к уровню января-сентября 2016 г.);

– умерло 43,8 тыс. чел. (96,0% к уровню января-сентября 2016 г.).

Естественная убыль населения составила 3551 человек.

Анализ Программ, разработанных на территориях Свердловской области, показывает, что многие запланированные мероприятия через 2–3 года могут быть неактуальны. Численность населения каких-либо территорий может упасть либо наоборот возрасти и в прокладке новых сетей уже не будет необходимости, либо наоборот вопрос подключения новых абонентов будет стоять крайне остро.

Следующий критерий, которому следует уделить особое внимание при формировании Программы, – уровень доходов населения, проживающего на территории.

В январе-сентябре 2017 г. среднемесячная заработная плата одного работника по полному кругу организаций Свердловской области, по данным Управления федеральной службы государственной статистики по Свердловской и Курганской области, составила 33635,1 р. (105,8% к соответствующему периоду 2016 г.). Это общие статистические данные, а если рассмотреть МО «город Екатеринбург» и любое другое муниципальное образование, принадлежащее Свердловской области, мы увидим, что разница в доходах населения будет значительна. Именно поэтому при формировании Программы необходимо учитывать индекс потребительских цен и рост тарифов.

В сумме плата за все виды коммунальных услуг, которая будет отражена в квитанциях для населения ежемесячно, должна быть соразмерна с уровнем дохода населения на данной территории. На территории Свердловской области подписан указ об установлении максимальных индексов изменения платы граждан за коммунальные услуги на 2018 г. Данные индексы устанавливаются ежегодно. Они определяют, до какого предела предприятия ЖКХ могут поднять плату за коммунальные услуги. Если не возникнет острой необходимости, то предприятия ЖКХ имеют полное право полностью отказаться от повышения платы за коммунальные услуги.

Согласно указу губернатора Свердловской области «Об установлении предельных (максимальных) индексов изменения размера вносимой гражданами платы за коммунальные услуги в муниципальных образованиях, расположенных на территории Свердловской области, на 2018 год» от 20.11.2017 г. № 589-УГ с 1 июля по 31 декабря 2018 г. предельный индекс роста тарифов составил 7%. Изменение (прирост) размера вносимой гражданами платы за коммунальные услуги в среднем по всем муниципальным образованиям, расположенным на территории Свердловской области, не превышает значения предельных (максимальных) индексов изменения размера вносимой гражданами платы за коммунальные услуги по Свердловской области в размере 0% в первом полугодии 2018 г. и 4,5% – во втором полугодии 2018 г., утвержденных распоряжением Правительства Российской Федерации от 26.10.2017 г. № 2353-р.

Следуя вышесказанному, при разработке Программы на каждой территории Свердловской области необходимо понимать, что, например, установка несоразмерно дорогостоящих приспособлений для очистки воды на территории, где низкий уровень доходов населения, сможет привести к неоправданно завышенному росту тарифов, что является невозможным в соответствии с указом губернатора.

Другая ситуация складывается с территорией города Екатеринбурга, либо другими передовыми муниципальными образованиями Свердловской области, где, например, при ранней разработке муниципальных программ, схем была заложена реконструкция (модернизация) сетей. Но на данном этапе развития стало очевидным, что при более плотной загрузке населением старые, пусть и реконструируемые сети или модернизируемые котельные, могут не в полной мере обеспечить жителей необходимой коммунальной услугой. В данной ситуации будет более рациональна прокладка новых сетей, либо строительство новой, более мощной, котельной с учетом этого мероприятия в сумме платы населения за коммунальные услуги. Учитывая уровень доходов населения и предельный индекс размера платы, данное мероприятие должно грамотно отразиться в Программе и принести больший вклад в повышение уровня удовлетворенности качеством предоставляемых коммунальных услуг среди населения.

Табличные данные указаны в обобщенном формате, выступают в роли примера расчетных показателей по какой-либо территории. В Программе совокупный объем платы за коммунальные услуги отражается в таблице 1–3.

Таблица 1.

Расчет совокупного платежа граждан по принятым данным в 2016 г.

Table 1.

Calculation of total payment of citizens according to the received data in 2016

Наименование услуги Service name	Принятые значения Values	Норматив Norm	Средний тариф Average	Стоимость услуг, руб./в месяц Cost of services, RUB / month
Теплоснабжение Heat supply	Площадь 45 м^2	0,02 Гкал/кв. м	1420,73 р. / Гкал	426,219
Холодное водоснабжение Cold water supply	Проживает 3 чел.	4,6 куб. м/1 чел.	13,96 р./куб. м	192,65
Водоотведение Water disposal	Соответствует водоснабжению	4,6 куб. м/1 чел.	12,12 р./куб. м	167,26
Электроснабжение Electrosupply	Проживает 3 чел.	130 кВт·ч/1 чел.	2,10 р./кВт·ч	819,00
Газоснабжение Gas supply	Проживает 3 чел.	12 куб. м/1 чел.	5,25 р./куб. м	189,00
Итого совокупный платеж в месяц | Total comprehensive payment per month				1794,13

Экономическое развитие региона во многом определяется уровнем инвестиционной активности. Инвестиционная привлекательность одна из необходимых составляющих экономики территории, повышения конкурентоспособности региона, обеспечения высоких и устойчивых темпов экономического роста.

Мероприятия по повышению инвестиционной привлекательности являются одним из ключевых моментов разработанных на территории стратегий и программ. В настоящее время все более распространенным становится заключение концессионного соглашения.

По концессионному соглашению одна сторона (концессионер) обязуется за свой счет создать и (или) реконструировать определенное этим соглашением имущество (недвижимое имущество или недвижимое и движимое имущество, технологически связанное между собой и предназначенное для осуществления деятельности, предусмотренной концессионным соглашением) (далее – объект концессионного соглашения), право собственности на которое принадлежит или будет принадлежать другой стороне (концеденту), осуществлять деятельность с использованием (эксплуатацией) объекта концессионного соглашения, а концедент обязуется предоставить концессионеру на срок, установленный этим соглашением, права владения и пользования объектом концессионного соглашения для осуществления указанной деятельности (Федеральный закон от 21.07.2005 г. № 115-ФЗ (ред. от 31.12.2017) «О концессионных соглашениях»).

Таблица 2.

Расчет изменения совокупного платежа граждан до 2026 года в соответствии с прогнозным размером индексации совокупного платежа граждан за коммунальные услуги, установленный Правительством РФ

Table 2.

Calculation of the change of total payment of citizens up to 2026 year in accordance with the forecast PThe index of total payment of Citizens for utility services, established by the Government of the Russian Federation

Наименование услуги Service name	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.	2026 г.
Теплоснабжение Heat supply	426,219	447,52995	469,90645	493,40177	518,07186	543,975451	571,17422	599,73294	629,71958	661,20556	694,265839
Холодное водоснабжение Cold water supply	192,65	202,2825	212,39663	223,01646	234,16728	245,875643	258,16943	271,0779	284,63179	298,86338	313,80655
Водоотведение Water disposal	167,26	175,623	184,40415	193,62436	203,30558	213,470854	224,1444	235,35162	247,1192	259,47516	272,448915
Электроснабжение Electrosupply	819	859,95	902,9475	948,09488	995,49962	1045,2746	1097,5383	1152,4152	1210,036	1270,5378	1334,0647
Газоснабжение Gas supply	189	198,45	208,3725	218,79113	229,73068	241,217215	253,27808	265,94198	279,23908	293,20103	307,861084
Итого | Total	1794,13	1883,8355	1978,0272	2076,9286	2180,775	2289,81376	2404,3045	2524,5197	2650,7457	2783,2829	2922,44709

Таблица 3.

Доступность коммунальных услуг в течение периода реализации Программы

Table 3.

Availability of utility services during the period of the program implementation

Наименование критерия The name of the criterion	Уровень доступности в 2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.	2026 г.
Доля расходов на коммунальные услуги в совокупном доходе семьи, % The share of expenses on utilities in the cumulative income of a family, %	19,2	>8,6	>8,6	>8,6	7,2–8,6	7,2–8,6	7,2–8,6	7,2–8,6	7,2–8,6	5,3–6,2	5,3–6,2
Доля населения с доходами ниже прожиточного минимума, % Share of population with incomes below the subsistence minimum, %	14	>12	>12	>12	8–12	8–12	8–12	8–12	8–12	7,7–8,1	7,7–8,1
Уровень собираемости платежей за коммунальные услуги, % Level of collection of payments for utilities, %	88,1	85–92	85–92	85–92	85–92	85–92	95,9–97,2	95,9–97,2	95,9–97,2	95,9–97,2	95,9–97,2
Доля получателей субсидий на оплату коммунальных услуг в общей численности населения, % Share of recipients of subsidies for utilities in the total population, %	25,7	>15	>15	>15	>15	>15	>15	10–15	10–15	10–15	10–15

Другими словами, концессионное соглашение – это форма государственно-частного партнерства, вовлечение частного сектора в эффективное управление государственной собственностью или в оказании услуг, обычно оказываемых государством, на взаимовыгодных условиях. Далеко не все территории могут называться инвестиционно-привлекательными. Изношенные объекты коммунальной инфраструктуры, недостаточность финансирования сферы ЖКХ способствовали снижению инвестиционной привлекательности территорий.

По данным коллегии Мининвеста, объем инвестиций организаций Свердловской области в 2017 г. вырос на 4%. Объем инвестиций в 2017 г. по полному кругу организаций составил 337, 8 млрд р.

В 2018 г. Министерство инвестиций и развития Свердловской области планирует заключить не менее пяти соглашений на принципах государственно-частного партнерства в сфере образования, жилищно-коммунального хозяйства и социального развития.

В данный момент совсем не просто найти инвесторов, готовых вложиться в реконструкцию и модернизацию коммунальной сферы, объясняя это неудовлетворительным состояниям ее объектов. Очевидно, что получение прибыли от использования этих объектов очень медленный процесс, который продлится на период действия концессионного соглашения.

Стоит отметить, что плата за реконструкцию объектов также отразится и на тарифах для населения. Таким образом, мы подошли к определяемому критерию – инвестиционной привлекательности территории. Если объекты коммунальной инфраструктуры находятся в удовлетворительном состоянии, тогда и речь может идти о привлечении инвесторов в коммунальную сферу данной территории, а следовательно, и о включении в Программу передовых мероприятий, отражающих модернизацию оборудования, его замену на более качественное. Также может идти речь и о строительстве или прокладке новых сетей, строительстве, а не реконструкции нового полигона ТКО и т. д. В случае если объекты коммунальной инфраструктуры на территории ненадлежащего качества, то и сложно говорить о ее инвестиционной привлекательности. Основным источником финансирования мероприятий на данной территории будет муниципальный или региональный бюджет, а следовательно, и мероприятия будут направлены на устранение экстренных неполадок, модернизацию или реконструкцию первостепенных для использования объектов. Не стоит забывать, что мероприятия в Программе должны быть реальные, выполнимые, исходя из технической возможности и финансовой обеспеченности территории.

В настоящее время политика государства должна быть нацелена на преодоление затянувшегося кризиса в коммунальной сфере, обеспечение ее стабильного развития. Коммунальная сфера обеспечивает функционирование инженерной инфраструктуры различных зданий населенных пунктов, создавая удобства и комфортность проживания и нахождения в них населения предоставляя им широкий спектр коммунальных услуг.

При составлении Программы стоит обращать внимание на характерные черты территории, особенно при разработке мероприятий, включенных в ее состав. От того как разработчик составит, а исполнитель реализует Программу на территории, будет зависеть успешность коммунальной сферы данного муниципалитета. Грамотный подход при разработке и исполнении Программы позволит улучшить состояние коммунальной сферы как отдельной территории, так и страны в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1 Аболин А.А. Основные направления реформирования ЖКХ муниципальных образований // ЖКХ: журнал руководителя и главного бухгалтера. Часть 1. 2015. № 2. С. 37–40.

2 Авдеева Л.И. Менеджмент организации: теория и практика. 2002. 271с.

3 Аверченко В.А. ЖКХ России: состояние и перспективы // ЖКХ: журнал руководителя и главного бухгалтера. Часть 1. 2014. № 11. С. 9–11.

4 Башмаков И.А., Папушкин В. Разработка программ развития, модернизации и реабилитации систем теплоснабжения // Альманах «Современные проблемы социальной политики в России». 2015. Т. 9.

5 Губина А.С. Риски инвестирования в жилищно-коммунальный комплекс // ЖКХ: журнал руководителя и главного бухгалтера. Часть 1. 2006. № 3. С. 45–48

6 Дойль П. Менеджмент: стратегия и тактика. Санкт-Петербург: Питер, 2009. 559 с.

7 Ильина И.Н. Экономика городского хозяйства: учебное пособие. Москва: КНОРУС, 2013. 248 с.

8 Коцюбинский В.А. Особенности экономического роста и его моделирования. М.: Дело, 2013. 596 с.

9 Руткаускас Т.К. Формирование рыночных отношений в жилищно-коммунальном хозяйстве. Теория, методология и практика: монография. Саарбрюккен: LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. 494 с.

10 Симионов Ю.Ф. Жилищно-коммунальное хозяйство: справочник. М.: Феникс, 2010. 843 с.

11 Юркин М.О., Николаева П.С. Состояние и преспективы развития национальной платежной системы на федеральном и субфедеральном уровне // Вестник НГИЭИ. 2016. № 7 (62). С. 130–140.

12 Хорев А.И., Овчинникова Т.И., Кобелева С.В. Развитие конкурентоспособных инновационных производств на основе интенсификации труда // Экономика. Инновации. Управление качеством. 2014. № 2 (7). С. 9–16.

REFERENCES

1 Abolin A.A. The Main directions of reforming housing and communal services of municipalities. *ZhKKh: zhurnal rukovoditelya i glavnogo buhgaltera* [Housing and utilities: chief and chief accountant magazine. Part 1]. 2015. no. 2. pp. 37–40. (in Russian).

2 Avdeeva L.I. Menedzhment organizacii: teoriya i praktika [Management of the organization: theory and practice]. 2002. 271 p. (in Russian).

3 Averchenko V.A. housing and communal services of Russia: status and prospects. *ZhKKh: zhurnal rukovoditelya i glavnogo buhgaltera* [Housing and utilities: chief and chief accountant magazine. Part 1]. 2014. no. 11. pp. 9–11. (in Russian).

4 Bashmakov I.A., Papushkin V. Development of programs of development, modernization and rehabilitation of heat supply systems. *Al'manah "Sovremennye problemy social'noj politiki v Rossii"* [Almanac "Modern problems of social policy in Russia"]. 2015. vol. 9. (in Russian).

5 Gubina A.S. The risks of investing in housing and communal complex. *ZhKKh: zhurnal rukovoditelya i glavnogo buhgaltera* [Housing and utilities: chief and chief accountant magazine. Part 1]. 2006. no. 3. pp. 45–48. (in Russian).

6 Doyle P. Menedzhment: strategiya i taktika [Management: strategy and tactics]. St. Petersburg, Peter, 2009. 559 p. (in Russian).

7 Ilyin I.N. Ehkonomika gorodskogo hozyajstva [Economics of urban economy]. Moscow, KNORUS, 2013. 248 p. (in Russian).

8 Kocyubinskij V.A. Osobennosti ehkonomicheskogo rosta i ego modelirovaniya [Features of economic growth and its modeling]. Moscow, Business, 2013. 596 p. (in Russian).

9 Rutkauskas T.K. Formirovanie rynochnyh otnoshenij v zhilishchno-kommunal'nom hozyajstve. Teoriya, metodologiya i praktika [Formation of market relations in housing and communal services. Theory, methodology and practice: monograph]. Saarbrucken, LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. 494 p. (in Russian).

10 Simionov Yu.F. Zhilishchno-kommunal'noe hozyajstvo [The Housing and communal services]. Moscow, Feniks, 2010. 843 p. (in Russian).

11 Yurkin M.O., Nikolaeva P.S. The state and prospects of development of the national payment system at the federal and subfederal level. *Vestnik NGIEHI* [Herald NGIEI]. 2016. no. 7 (62). pp. 130–140. (in Russian).

12 Horev A.I., Ovchinnikova T.I., Kobeleva S.V. The development of competitive innovative industries based on the intensification of labor. *Ehkonomika. Innovacii. Upravlenie kachestvom* [Economy. Innovation. Quality control]. 2014. no. 2 (7). pp. 9–16. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Татьяна К. Руткаускас д.э.н., профессор, кафедра государственного и муниципального управления, Российский государственный профессионально-педагогический университет, ул. Машиностроителей,11, Екатеринбург, 620000, Россия, tatiana.k.rut@yandex.ru

Екатерина В. Шукшина аспирант, кафедра государственного и муниципального управления Российский государственный профессионально-педагогический университет, Российский государственный профессионально-педагогический университет, ул. Машиностроителей, 11, Екатеринбург, 620000, Россия, shukshina.ekaterina93@yandex.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Tatiana K. Rutkauskas Dr. Csi. (Econ.), professor, state and municipal management department, Russian state vocational pedagogical University, Mashinostroiteley str., 11, Ekaterinburg, 620000, Russia, tatiana.k.rut@yandex.ru

Ekaterina V. Shukshina graduate student, state and municipal management department, Russian state vocational pedagogical University, Mashinostroiteley str., 11, Ekaterinburg, 620000, Russia, shukshina.ekaterina93@yandex.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Татьяна К. Руткаускас консультация в ходе исследования
Екатерина В. Шукшина написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

CONTRIBUTION

Tatiana K. Rutkauskas consultation during the study
Ekaterina V. Shukshina wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

ПОСТУПИЛА 30.10.2018
ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 19.11.2018

RECEIVED 10.30.2018
ACCEPTED 11.19.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 360

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-463-470

Информационный анализ и синтез организационной структуры уникального проекта методами классической теории управления

Александр Н. Десятириков [1] n.n.tolstih@sozvezdie.su
Юрий Б. Нечаев [2] nechaev_ub@mail.ru
Елена Н. Десятирикова [3] science2000@ya.ru
Артем Ю. Шестопалов [4]

[1] ЗАО «ОФС «Связьстрой-1 ВОКК», ул. Заводская, 1, индустриальный парк «Масловский», Новоусманский р-он, Воронежская обл., Россия
[2] Воронежский государственный университет, Университетская пл., 1, г. Воронеж, 394018, Россия
[3] Воронежский государственный технический университет, Московский пр-т, 14, Воронеж, 394000, Россия
[4] АО «ВЦКБ «Полюс», Краснодонская ул., 16Б, Воронеж, 394019, Россия

Аннотация. Формирование организационной структуры уникального проекта (не имеющего прототипов) относится к общей проблеме оптимизации управления процессами в необратимых системах различного типа. При этом увеличение размерности системы требует построения моделей не только частных ситуаций предметной среды, но и моделей, учитывающих характер динамики изменения параметров процесса управления на всем горизонте планирования. В статье рассмотрена задача с позиции теории информации, позволяющей наиболее абстрактным способом (не ограничиваясь рамками определенной предметной области) провести моделирование и оптимизацию структуры системы управления сложным, не имеющим аналогов проектом. Информация в экономической системе неоднородна, вероятностна и имеет различные количественные характеристики, в разной степени используемые при моделировании сложных процессов управления. Проблема синтеза структуры организационной системы управления включает выбор числа уровней и подсистем, а также принципов организации управления; синтез структуры системы сбора, передачи и обработки информации; решение вопросов, связанных с оптимизацией иерархии построения системы, обеспечивающей эффективное выполнение функций управления и достижение поставленных целей. В задачах анализа и синтеза организационной структуры уникальных проектов использован аппарат передаточных функций классической теории управления. Моделирование организационной структуры проведено на максимально абстрактном уровне в терминах теории информации. Предложена методика оптимизации организационной структуры с учётом принципа информационной ценности ресурсов системы управления. Представление процесса управления как переходного процесса (динамического процесса преобразования информации) позволяет согласовать динамические характеристики аппаратных средств системы управления и человеческого фактора, оперирующего в ней.

Ключевые слова: классическая теория управления, системный анализ, теория информации, программно-целевой подход, организационная структура, уникальный проект

Information analysis and synthesis of the organizational structure of the unique project in the classical control theory

Aleksandr N. Desyatirikov [1] n.n.tolstih@sozvezdie.su
Yuriy B. Nechaev [2] nechaev_ub@mail.ru
Elena N. Desyatirikova [3] science2000@ya.ru
Artem Yu. Shestopalov [4]

[1] CJSC "OFS "Svyazstroy-1 VOKK», Zavodskaya str., 1, Industrial Park Maslovskiy, Voronezhskaya region, Russia
[2] Voronezh state university, Universitetskaya pl., 1, Voronezh, 394018, Russia
[3] Voronezh state technical university, Moscow av., 14, Voronezh, 394000, Russia
[4] JSC "VTsKB" Polus, Krasnodonskaya str., 16B, Voronezh, 394019, Russia

Abstract. The formation of the organizational structure of a unique project (without prototypes) refers to the general problem of optimizing the management of processes in irreversible systems of various types. At the same time, an increase in the dimension of the system requires the construction of models not only for particular situations of the objective environment, but also for models that take into account the nature of the dynamics of changes in the parameters of the management process throughout the planning horizon. The article considers the problem from the perspective of information theory, which allows the most abstract method (not limited to a specific subject area) to carry out modeling and optimization of the structure of a control system with a complex, unparalleled project. Information in the economic system is heterogeneous, probabilistic, and has various quantitative characteristics, used to varying degrees in the modeling of complex management processes. The problem of synthesizing the structure of an organizational management system includes the choice of the number of levels and subsystems, as well as the principles of management organization; synthesis of the structure of the system for collecting, transmitting and processing information; addressing issues related to optimizing the hierarchy of the system, ensuring the effective performance of management functions and the achievement of goals. In the tasks of analysis and synthesis of the organizational structure of unique projects, the apparatus of the transfer functions of the classical control theory is used. The organizational structure was modeled at the most abstract level in terms of information theory. The proposed method of optimizing the organizational structure, taking into account the principle of the information value of the resources of the management system. The representation of the management process as a transitional process (a dynamic process of information transformation) allows to reconcile the dynamic characteristics of the control system hardware and the human factor operating in it.

Keywords: control theory, system analysis, information theory, program-target approach, organizational structure, unique project

Для цитирования

Десятириков А.Н., Нечаев Ю.Б., Десятирикова Е.Н., Шестопалов А.Ю. Информационный анализ и синтез организационной структуры уникального проекта методами классической теории управления // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 463–470. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-463-470

For citation

Desyatirikov A.N., Nechaev Yu.B., Desyatirikova E.N., Shestopalov A.Yu. Information analysis and synthesis of the organizational structure of the unique project in the classical control theory. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 463–470. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-463-470

Введение

Задача формирования организационной структуры уникального проекта (не имеющего прототипов) относится к общей проблеме оптимизации управления процессами в необратимых системах различного типа (термодинамических, биологистических, социально-экономических и др.). При этом увеличение размерности системы требует построения моделей не только частных ситуаций предметной среды, но и моделей, учитывающих характер динамики изменения параметров процесса управления на всем горизонте планирования. Известны различные способы представления ситуационных систем управления, реализующие как эвристические рекомендации [1], так и модельный аппарат с элементами оптимизации [2], а также с использованием нечетких динамических семантических сетей [3]. Мы предлагаем рассматривать соответствующую задачу с позиций теории информации, позволяющей наиболее абстрактным способом (не ограничиваясь рамками определенной предметной области) провести моделирование и оптимизацию структуры системы управления сложным, не имеющим аналогов проектом. Однако для наглядности изложения в дальнейшем будем говорить об управлении социально-экономическими системами, что, несомненно, актуально и обусловлено возникновением и реализацией новых организационных механизмов и другими факторами, требующими разработки и внедрения научно-технических основ построения организационных систем управления, адекватных современным условиям и требованиям общественной жизни.

Проблема синтеза структуры организационной системы управления включает выбор числа уровней и подсистем, а также принципов организации управления; синтез структуры системы сбора, передачи и обработки информации; решение вопросов, связанных с оптимизацией иерархии построения системы, обеспечивающей эффективное выполнение функций управления и достижение поставленных целей. Кроме того, необходимо предусмотреть активный характер управляющей системы и разработать систему стимулирования ее активных элементов. Отсюда возникает (дополнительно) задача разработки единого критерия качества функционирования системы управления.

В свою очередь, организационные системы управления характеризуются сложностью, обусловленной большим числом входящих в них элементов и выполняемых ими функций, высокой степенью связности элементов, территориальной распределенностью и иерархичностью построения, тесным взаимодействием функциональных подсистем, слабой формализуемостью алгоритмов выбора управленческих решений, необходимостью реализации принципов программно-целевого управления и большими объемами перерабатываемой информации.

Под структурой организационной системы управления понимается форма распределения задач и полномочий по принятию решений между ЛПР или структурными подразделениями, составляющими организационную систему [2]. Структура дерева целей обычно является основой проектирования организационной структуры системы управления проектом, где *иерархия* целей определяет ранжирование сообщений и режим их передачи, а *формулировка* целей и критериев содействует проектированию наиболее содержательных показателей учета и отчетности.

Технология построения дерева целей и критериев методически обеспечивает организацию функционирования экономико-информационной управляющей системы и состоит в следующем [4]: первый уровень выражает обычно общую глобальную цель реализации крупного проекта, а второй, третий и четвертый уровни – общие социально-политические, экономические и другие цели и критерии. На первых четырех уровнях, следовательно, группируется информация о целях и критериях. Начиная с четвертого уровня, детализация проблем управления проектом доходит до программ конкретных мероприятий, осуществляемых комплексами подсистем. Это означает, что на четвертом–шестом уровнях происходит организация (упорядочение) информации о средствах достижения целей высших уровней – общих целей проекта. Ниже шестого уровня производится дальнейшая дезагрегация информации – ставятся отдельные конкретные задания по отраслям производства и конкретным подразделениям управляемых экономических структур, вплоть до формулировки конкретных работ, осуществляемых элементарными структурными подсистемами экономической системы для достижения общих целей. Таким образом, на нижнем уровне иерархии управляющей системы решаются конкретные прикладные задачи, причем доля задач, решаемых в автоматическом режиме, достаточно высока. При повышении уровня управления в иерархии СУ БЭС возрастает доля задач информационно-справочного обслуживания процесса управления, а также увеличивается степень использования комплекса программ, решающих задачи поддержки процесса управления на основе знаний в реальном масштабе времени [5].

Использование в управлении информационных технологий требует наличия информационных критериев оптимального функционирования системы управления (СУ). Эффективность функционирования СУ можно оценить с привлечением информационных показателей целевой и технологической эффективности СУ, которые будут введены ниже. Неоптимальность функционирования СУ характеризуется относительным значением некоторого «ущерба» (последствиями от недостижения целей в единицу времени, выражающимися в возможном уменьшении степени достижения вышестоящих по иерархии целей) из-за неполного достижения цели при всех возможных ситуациях, встречающихся в системе.

В литературе по системному анализу рассмотрение зависимости достижения целей от достижения подцелей ведется на деревьях целей, основой построения которых является поуровневая детализация целей на подцели. Все подцели одной цели в отношении их влияния на цель можно разбить на две группы – определяющие и дополняющие. Определяющая подцель – это подцель, полное недостижение которой приводит к полному недостижению цели, а полное достижение цели возможно только при полном достижении каждой из этих подцелей, т. е. достижение таких подцелей является необходимым условием достижения цели. Кроме того, необходимым условием достижения цели при всех достигнутых подцелях является эффективная работа узла управления, ответственного за достижение цели. Дополняющая подцель – это такая подцель, полное недостижение которой приводит к частичному недостижению цели (достаточные условия достижения цели).

Результаты и обсуждение

При анализе процессов функционирования совокупность целей и подцелей в большинстве случаев не удается представить как «чистые» деревья, поскольку картина осложняется присутствием перекрестного влияния подцелей и обратного влияния достижения целей на достижение подцелей, а также наличием узлов управления, ответственных за достижение целей и подцелей.

Учет характера связей дерева целей удобно проводить следующим образом. Пусть задана цель d, находящаяся на $(m + 1)$-м уровне иерархии целей, и n ее подцелей на m-м уровне (рисунок 1). Достижение цели d обеспечивается функционированием узла управления β. Положим, качество работы узла управления определяется только четырьмя показателями:

- 1* – преобразующими свойствами используемого алгоритма Φ^T (мощностью алгоритмов, применяемых в решении поставленных задач управления);
- 2* – количеством полезной осведомляющей информации, поступающей на вход узла управления I_o;
- 3* – информационной эффективностью J^{1T};
- 4* – относительной мощностью исполнительных органов узла управления, или, что то же самое, – информационной производительностью J^{2T}.

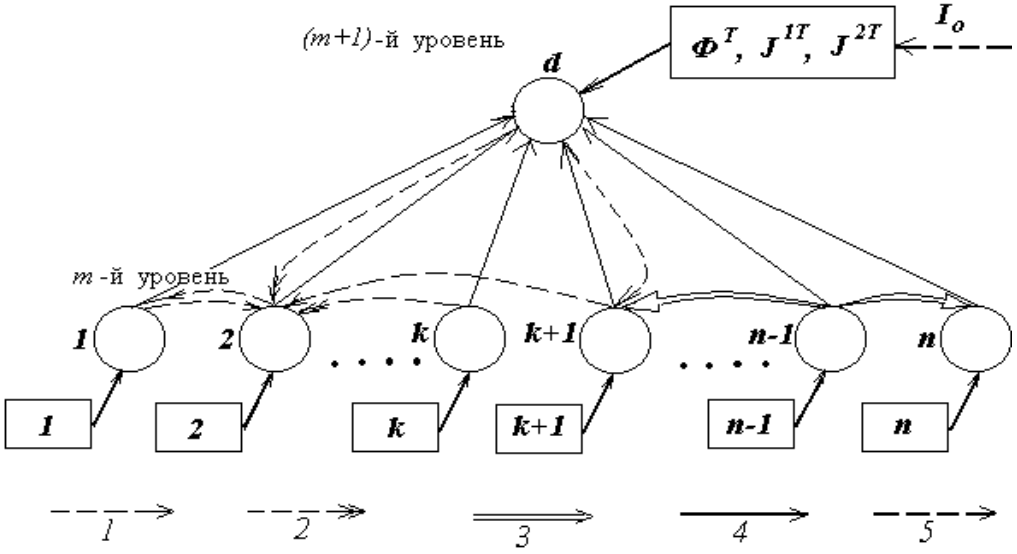


Рисунок 1. Метод построения иерархии целей: О – цели и подцели; □ – узлы управления; 1 – стимулирующие воздействия; 2 – тормозящие воздействия; 3 – компенсация за счет избыточной упорядоченности; 4 – управляющая информация; 5 – осведомляющая информация

Figure 1. A method of constructing a hierarchy of objectives: O – goals and subgoals; □ – management nodes; 1 – stimulating effect; 2 – inhibitory effects; 3 – payment due to excessive orderliness; 4 – management; 5 – inquire information

Достижение подцелей, в свою очередь, обеспечивается нижележащими «своими» подцелями. Таким образом, множество дуг графа дерева целей соответствует множеству отношений условий достижения целей верхних уровней. Так, например, цель $d^{(m-1)}$ достигается, если достигнуты цели $k_1^{(m)}$, $k_2^{(m)}$, $k_k^{(m)}$, $k_{n-1}^{(m)}$, $k_n^{(m)}$. Каждая из соответствующих им дуг на дереве целей характеризуется параметром значимости γ таким, что $\sum_{n_1=1}^{N_1^m} \gamma_{n_1}{}^m = 1$.

Это значит, что сумма стимулирующих дуг в вершине графа равна единице, что достигается соответствующей их нормировкой. Коэффициенты значимости определяющих целей (индекс $n1$) на m-уровне дерева целей образуют матрицу «цели–средство» $Q^m = |q_{n1}{}^m|$, сумма элементов каждой строки которой равна 1. Определение весовых коэффициентов системы целей иерархически упорядоченных операций может оказаться полезным при распределении ресурсов или финансировании на этапе формирования организационной системы управления.

Между целями и подцелями существует три вида связи: прямая (сверху вниз по иерархии), обратная и перекрестная (между подцелями на одном уровне иерархии). В свою очередь, эти связи могут быть: положительные (стимулирующие), вызывающие изменение неорганизованности того же знака; отрицательные (тормозящие), вызывающие изменение неорганизованности противоположного знака; компенсационные, вызывающие уменьшение неорганизованности противоположного знака; компенсационные, вызывающие уменьшение неорганизованности за счет избыточной организованности в других частях системы.

Введем в рассмотрение коэффициент организации $z_{d\beta}$, который, очевидно, является функцией степени ответственности β-й подсистемы управления за достижение цели d (обозначим a_1) и четырех эквивалентных показателей 1* -4 *:

$$z_{d\beta} = f(a_1, \Phi^T, I_o, J^{1T}, J^{2T}).$$

Значение a_1 характеризует степень ответственности подсистемы управления за достижение d-цели. При $a_1 = 0$ цель – простое следствие связанных с ней подцелей: она достигается всякий раз, когда достигаются связанные с ней подцели без участия данной подсистемы управления. При $a_1 = 1$ подсистема управления несет полную ответственность за достижение цели d. Во всех промежуточных случаях исключение из процесса управления β-й подсистемы управления не влечет за собой полного недостижения d-цели. Случай, когда $J^{1T} = 1$ и $J^{2T} = 1$, соответствует идеальной реализации потенциальных возможностей алгоритма Φ^T (методик принятия решения). Подсистема управления может обладать большими внутренними ресурсами, позволяющими ей компенсировать частично или полностью недостижение подцелей. Это будет соответствовать случаю, когда информационная надежность функционирования системы управления (формула (1) $J^{3T} = 1$ и, следовательно, при $J^{1T} = 1$ и $J^{2T} = 1$ $z_{d\beta} > 1$.

Таким образом, задача оптимизации структуры управления сводится к максимизации организованности с учетом принципа информационной ценности. Другими словами, информационный ресурс $\Sigma_i I_{n\,i}$ *(i* = 1÷5*)* СУ следует использовать оптимальным образом и только для переработки наиболее ценной (качественной) информации I_o, на основе которой действительно возможна выработка оптимальных (при заданных ограничениях на количество информации $\mathfrak{I}_o$) управляющих решений $I_{\text{пр}}$, ведущих к достижению целей управления L_o:

$$\Sigma I_n \Rightarrow I_o \rightarrow I_{\text{пр}\,(L\,o)} \mid \mathfrak{I}_o.$$

Принцип информационной ценности позволяет учесть затраты информационного ресурса при определении эффективности функционирования системы управления проектом. При этом в качестве меры информации выступает вероятностная мера целесообразности управления, предложенная А.А. Харкевичем [6]:

$$I = \ln \frac{p_1}{p_0},$$

где p_0, p_1 – вероятности достижения цели управления до и после получения СУ информации соответственно.

Полученная информация может быть пустой, т. е. не изменять вероятности достижения цели, и в этом случае ее мера ценности равна нулю. В других случаях полученная информация может изменять положение дела в худшую сторону, т. е. уменьшать вероятность достижения цели, и тогда она будет дезинформацией. Это означает, что в общем случае при проектировании организационной структуры проекта необходимо учесть активный характер соответствующей системы и решать задачу стимулирования. Задача стимулирования заключается в назначении такой системы стимулирования, при которой активный элемент (АЭ) выбирает наиболее благоприятное для вышестоящего элемента управления действие. Решение данной задачи состоит в определении множества возможных действий АЭ для множества возможных систем стимулирования, выделении среди них действий,

доставляющих максимум целевой функции (это множество называется множеством реализуемых действий), после чего ищется система стимулирования, которая реализует наиболее благоприятное для центра действие [7].

Пользуясь описанной моделью, можно анализировать связи в иерархии целей и определять степень достижения целей на основании известных данных о достижении подцелей, а также степень целенаправленности функционирования системы путем построения иерархии целевой неорганизованности. Иерархия целевой неорганизованности системы представляет собой достаточно полную оценку целенаправленного функционирования всей многоуровневой системы.

После того как получены оценки степени целенаправленности, можно переходить к отысканию путей для уменьшения неорганизованности функционирования системы в отношении целей управления. При этом исходят из того, что величина неорганизованности на любом уровне зависит от следующих основных факторов:

– количественных и качественных показателей информации, используемой в управлении;

– показателей эффективности алгоритмов переработки информации с точки зрения управляющих воздействий и наблюдения за режимом;

– показателей реализуемости алгоритмов в структуре управления и условий информационной стыковки ЛПР и технических средств системы управления.

Качество процесса управления во многом определяется своевременностью принятия решений. Учитывая, что (по условиям задачи) скорость принятия решения не зависит от квалификации органов управления, а определяется лишь структурой системы управления, получим информационные критерии оптимальности структуры СУ.

Вообще говоря, в широком смысле понятие эффективности является интегральной характеристикой системы управления, зависящей от всех ее свойств, обеспечивающих выполнение главных целей функционирования экономической системы. Показатель эффективности СУ является многокомпонентным вектором, и эффективность управления представляет собой наиболее актуальную в экономических системах компоненту этого вектора – особенно в условиях высокой степени информатизации управления.

При определении интегральной технологической эффективности большой системы управления с известной структурой вполне применимы правила действий над передаточными функциями, используемыми в теории управления [8]. Поэтому основным здесь является вопрос информационного описания единичного элемента (локального узла) управления.

Для отдельных подсистем большой системы управления определен ряд информационных показателей технологической эффективности *i*-го информационного узла СУ [9].

• Коэффициент рациональности использования информационного ресурса, или, другими словами, коэффициент информационно-технологической эффективности *i*-й подсистемы управления:

$$J_i^{1T} = \frac{\Phi_i^T}{\Phi_i^T + I_{\cdot i}}, \quad 0 < J_i^1 < 1,$$

где $I_{n\,i}$ – количество преобразующей информации, содержащееся в *i*-й подсистеме и определяющее информационные, материальные и энергетические затраты данной структурной подсистемы СУ на преобразование содержательной информации; Φ_i^T – мера технологического эффекта, получаемого от данного узла СУ в результате выполнения работы информационно-управленческого типа.

Информационная производительность *i*-й подсистемы СУ:

$$J_i^{2T} = \frac{\Phi_i^T}{\tau},$$

где τ – среднее время между моментами принятия решений в *i*-й подсистеме.

Информационная надежность функционирования *i*-й подсистемы

$$J_i^{3T} = \Phi_i^T \Big/ H(I_i), \quad 0 < J_i^3 \le 1; \qquad (1)$$

очевидно, $J_i^{3T} = \max\{J_i^{3T}\} = 1$ в случае отсутствия дестабилизирующих факторов.

Имея в виду вероятностный характер величин в (1), для сложной многоуровневой системы управления большим проектом при последовательном принятии решений на каждом из *n* уровней иерархии обработки информации в *n*-подсистемах в целом показатель информационной надежности всей СУ имеет вид

$$J^{3T} = \prod_{i-1}^{n} J_i^{3T} < \min\{J_i^{3T}\}.$$

Это означает, что при абсолютной централизации управления адаптационные возможности структур управления обратно зависят от сложности иерархической СУ, и для улучшения жизнеспособности проекта часть функций управления должна быть делегирована от высших руководящих органов на нижестоящие уровни системы управления.

Применим ту же цепь рассуждений для обсуждения целевой эффективности СУ. Управление проектом как целенаправленный процесс имеет конечным итогом такое преобразование осведомляющей информации I_o в информацию принятия решения $I_{пр}$ (а с учетом исполняющей решения подсистемы – в управляющую информацию I_y), которое обеспечило бы заданную траекторию всей системы в целом. По-прежнему пользуемся общим видом функционала эффективности, имеем в виду, что целевая эффективность каждой подсистемы, находящейся на некотором уровне иерархии СУ проектом, также является функционалом вида

$$\Phi_i^{Ц} = \Phi_i^{Ц}(\phi_i\langle I_{i-1}, I_i, Z_i\rangle)$$

и определяется как комбинаторная мера разнообразия общесистемного тезауруса Ю. Шрейдера:

$$\Phi_{\text{ц}} = \max\{I_Z(I_0, T)\} = \\ = \max\{\ln[T(O_m / T]\},$$

где $I_z\ (M,\ T)$ – количество семантической информации в СУ, зависящее от тезауруса T системы управления и объема поступающей в СУ информации I_0.

Степень управляемости в данной подсистеме управления, а значит и ее технологическая эффективность определяется состоянием функционала Φ^T, представляющего собой информацию связи двух величин m^k_{i-1} и m^l_i (где $m^k_{i-1} \in I_{i-1}$ и $m^l_i \in I_i$ – составляющие исходного и преобразованного информационных потоков).

Вид такого функционала известен ([10], стр. 187):

$$\Phi^T(f) = \ln\frac{p(m^k_{i-1}, m^l_i)}{p(m^k_{i-1})\cdot p(m^l_i)} = H(m^l_i) - H(m^l_i \mid m^k_{i-1}),$$

где $H(\cdot)$ – шенноновское количество информации.

Усредним по всем парам m^k_{i-1} , m^l_i сообщений в исходном I_{i-1} и преобразованном I_i информационных массивах (ИМ):

$$\Phi^T(f) = \sum_l p(m^l_i)\ln[p(m^l_i)] - \sum_k p(m^k_{i-1})\sum_l p(m^l_i \mid m^k_{i-1})\ln[p(m^l_i \mid m^k_{i-1}) = \\ = H(I_i) - \sum_k p(m^k_{i-1})\ p(m^l_i \mid m^k_{i-1})\ H(I_i \mid m^k_{i-1}) = H(I_i) - \sum_k p(m^k_{i-1})\ H(I_i \mid m^k_{i-1}). \quad (2)$$

Выражение (2) представляет собой информационную меру технологической эффективности функционирования каждой из штатных единиц элемента управления.

В таких обозначениях можно говорить о следующих информационных показателях целевой эффективности i-й подсистемы СУ.

Производительность i-й подсистемы управления (с точки зрения целевой функции имеет смысл информационно-преобразующей способности подсистемы):

$$J_i^{1\cdots} = \frac{\Phi_i^{\cdots}}{\tau},$$

где τ – среднее время принятия решения в подсистеме управления.

Информационная обеспеченность процесса управления:

$$J^{2\cdots} = \frac{I_{\text{общ}}}{I_z(T)} = \frac{\Phi^{\cdots} + I_0 + I_z(T)}{I_z(T)} = \\ = 1 + \frac{\Phi^{\cdots} + I_0}{I_z(T)},$$

где $I_{\text{общ}}$ – общее количество информации, которое находится в i-й подсистеме; $I^{(0)}$ – количество информации в информационной базе i-й подсистемы.

Коэффициент информационного усиления:

$$J^{3\cdots} = \frac{I_{\text{общ}}}{\Phi^{\cdots}} = \frac{\Phi^{\cdots} + I_0 + I_z(T)}{\Phi^{\cdots}} = 1 + \frac{I_z(T) + I_0}{\Phi^{\cdots}}.$$

Заключение

Информация в экономической системе неоднородна, вероятностна и имеет различные количественные характеристики, в разной степени используемые при моделировании сложных процессов управления. Так, преобразование информации в каждой подсистеме СУ протекает во времени. При этом преобразующий функционал $\Phi^{Ц}$ вполне характеризует свойства алгоритма по отношению к решению частной целевой задачи элемента СУ, но никак не определяет динамику процесса управления в СУ проектом. Учет динамических свойств локальной системы управления необходим при синтезе распределенной структуры СУ. Кроме того, представление процесса управления как переходного процесса (динамического процесса преобразования информации) позволяет согласовать динамические характеристики аппаратных средств СУ и человеческого фактора, оперирующего в ней.

ЛИТЕРАТУРА

1 Desyatirikova E.N., Belousov V.E., Fedosova S.P., Ievleva A.A. DSS design for risk management of projects // 2017 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies". St. Petersburg: IEEE, 2017. P. 492–495. doi: 10.1109/ITMQIS.2017.8085869

2 Chernenkaya L.V., Desyatirikova E.N., Belousov V.E., Chepelev S.A. et al. Optimal planning of distributed control systems with active elements // 2017 IEEE 2nd International Conference on Control in Technical Systems. St. Petersburg: IEEE, 2017. P. .39–42. doi: 10.1109/CTSYS.2017.8109482

3 Mager V.E., Belousov V.E. Desyatirikova E.N., Tzaregorodtceva O.V. et al. Modeling the Inverse Problem of Knowledge Synthesis for a Flexible Production System // 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus). Moscow: IEEE, 2018. P. 1117–1120. doi: 10.1109/EIConRus.2018.8317286

4 Лутченко Т.В., Нечаев Ю.Б., Шестопалов А.Ю. Модель формирования стратегии развития предприятия, входящего в интегрированную структуру ОПК // Теория и техника радиосвязи. 2016. № 4. С. 108–114.

5 Пащенко Ф.Ф., Чернышев К.Р. Методы и системы управления и идентификации на основе знаний // АиТ. 2000. № 2. С. 3–28.

6 Харкевич А.Л. О ценности информации // Проблемы кибернетики. Вып. 4. М.: Физматгиз, 1960. С. 53-57.

7 Коргин Н.А. Задачи стимулирования и обменные схемы // АиТ. 2001. № 10. С. 147–153.

8 Десятириков А.Н., Гасилов В.В., Десятирикова Е.Н. Информационный подход к синтезу организационной структуры уникального проекта // Системы управления и информационные технологии. 2006. Т. 23. № 1.2. С. 237–241.

9 Ловцов Д.А. Информационные показатели эффективности функционирования АСУ сложными динамическими объектами // АиТ. 1994. № 12. С. 143–150.

10 Стратонович Р.Л. Теория информации. М.: Сов. Радио. 1975. 424 с.

11 Рзун И.Г., Старкова Н.О. Формирование модели управления брендом региона // Вестник НГИЭИ. 2016. № 9 (64). С. 54-64.

12 Хорев А.И., Овчинникова Т.И., Пахомов А.И., Кобелева С.В. Методические подходы к анализу экономической безопасности инновационно-инвестиционных проектов в продовольственном комплексе // Вестник ВГУИТ. 2013. № 4 (58). С. 241–254.

REFERENCES

1 Desyatirikova E.N., Belousov V.E., Fedosova S.P., Ievleva A.A. DSS design for risk management of projects. 2017 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies". St. Petersburg, IEEE, 2017. pp. 492–495. doi: 10.1109/ITMQIS.2017.8085869

2 Chernenkaya L.V., Desyatirikova E.N., Belousov V.E., Chepelev S.A. et al. Optimal planning of distributed control systems with active elements. 2017 IEEE 2nd International Conference on Control in Technical Systems. St. Petersburg, IEEE, 2017. pp. .39–42. doi: 10.1109/CTSYS.2017.8109482

3 Mager V.E., Belousov V.E. Desyatirikova E.N., Tzaregorodtceva O.V. et al. Modeling the Inverse Problem of Knowledge Synthesis for a Flexible Production System. 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus). Moscow, IEEE, 2018. pp. 1117–1120. doi: 10.1109/EIConRus.2018.8317286

4 Lutchenko T.V., Nechaev Yu.B., Shestopalov A.Yu. Model of formation of the development strategy of the enterprise, which is included in the integrated structure of the defense industrial complex. *Teoriya i tekhnika radiosvyazi* [Theory and technology of radio communication]. 2016. no. 4. pp. 108–114. (in Russian).

5 Pashchenko F.F., Chernyshev K.R. Methods and systems of management and identification based on knowledge. *AiT* [AiT]. no. 2. pp. 3–28. (in Russian).

6 Kharkevich A.L. On the value of information. Problemy kibernetiki [Problems of Cybernetics. Issue 4]. Moscow, Fizmatgiz, 1960. pp. 53–57. (in Russian).

7 Korgin N.A. Incentive tasks and exchange schemes. *AiT* [AiT]. 2001. no. 10. pp. 147–153. (in Russian).

8 Desyatirikov A.N., Gasilov V.V., Desyatirikova E.N. Informational approach to the synthesis of the organizational structure of a unique project. *Sistemy upravleniya i informacionnye tekhnologii* [Control Systems and Information Technologies]. 2006. vol. 23. no. 1.2. pp. 237–241. (in Russian).

9 Lovtsov D.A. Information indicators of the effectiveness of the functioning of automated control systems of complex dynamic objects. *AiT* [AiT]. 1994. no. 12. pp. 143–150. (in Russian).

10 Stratonovich R.L. Teoriya informacii [Information theory]. Moscow, Sov. Radio, 1975. 424 p. (in Russian).

11 Rzun I.G., Starkova N.O. Formation of the model of brand management in the region. *Vestnik NGIEI* [Herald NGIEI]. 2016. no. 9 (64). pp. 54-64. (in Russian).

12 Khorev A.I., Ovchinnikova T.I., Pakhomov A.I., Kobeleva S.V. Methodical approaches to the analysis of economic security of innovation and investment projects in the food industry. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2013. no. 4 (58). pp. 241–254. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Александр Н. Десятириков к.э.н., руководитель проекта, ЗАО «ОФС «Связьстрой-1 ВОКК», ул. Заводская, 1, индустриальный парк «Масловский», Новоусманский р-он, Воронежская обл., Россия, n.n.tolstih@sozvezdie.su

Юрий Б. Нечаев д.ф.-м.н., профессор, кафедра информационных систем, Воронежский государственный университет, Университетская пл., 1, г. Воронеж, 394018, Россия, nechaev_ub@mail.ru

Елена Н. Десятирикова д.э.н., профессор, кафедра систем управления и информационных технологий в строительстве, Воронежский государственный технический университет, Московский пр-т, 14, Воронеж, 394000, Россия, science2000@ya.ru

Артем Ю. Шестопалов заместитель начальника, АО «ВЦКБ «Полюс», Краснодонская ул., 16Б, Воронеж, 394019, Россия

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Александр Н. Десятириков консультация в ходе исследования

Юрий Б. Нечаев консультация в ходе исследования

Елена Н. Десятирикова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, выполнила расчёты

Артем Ю. Шестопалов написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 02.08.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 20.08.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Aleksandr N. Desyatirikov Cand. Sci. (Econ.), project manager, CJSC "OFS "Svyazstroy-1 VOKK», Zavodskaya str., 1, Industrial Park Maslovskiy, Voronezhskaya region, Russia, n.n.tolstih@sozvezdie.su

Yuriy B. Nechaev Dr. Sci. (Phys.-Math.), professor, information systems department, Voronezh state university, Universitetskaya pl., 1, Voronezh, 394018, Russia, nechaev_ub@mail.ru

Elena N. Desyatirikova Dr. Sci. (Econ.), professor, management systems and information technologies in construction department, Voronezh state technical university, Moscow av., 14, Voronezh, 394000, Russia, science2000@ya.ru

Artem Yu. Shestopalov deputy chief, JSC Polus, Krasnodonskaya str., 16B, Voronezh, 394019, Russia

CONTRIBUTION

Aleksandr N. Desyatirikov consultation during the study

Yuriy B. Nechaev consultation during the study

Elena N. Desyatirikova review of the literature on an investigated problem, performed computations

Artem Yu. Shestopalov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 8.2.2018

ACCEPTED 8.20.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 360

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-471-478

Меры по снижению безработицы

Татьяна И. Овчинникова [1]
Геннадий Н. Струков [1] g.strukov@inbox.ru

[1] Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены социально-экономические меры снижения безработицы. В современных экономических условиях авторы выделяют состояние рынка труда, характеризуемое уровнем развития инфраструктуры рынка, деформированностью в доходах работников, уровнем квалификации выпускников вузов, наличием «теневого» сектора рынка труда; а также движение на рынке труда: естественное движение, изменение пенсионной системы, высокий уровень скрытой безработицы, невысокая заработная плата, падение производства, миграционные процессы. Рассмотрена структура занятых по возрастным группам, исследованы показатели, характеризующие и состояние и движение на рынке труда, показано снижение количества работающих, связанное с естественными процессами (снижение рождаемости и повышение уровня смертности населения). На примере одного из районов г. Воронеж исследована модель, определяющая степень экономической эффективности потенциала населения; модель включает расчет показателейпотенциала трудовых ресурсови показателей молодежной безработицы. Предлагается включать для дальнейшего формирования рынка труда и снижения уровня безработицы следующие механизмы: оффшоринг, увеличение трудового стажа, учет миграции населения, контроль за оттокомработников, высвобождаемых из различных отраслей народного хозяйства, повышение уровня квалификации молодежи, которая впервые вступает в трудовую деятельность, расширение феминизации трудового населения (женщины, имеющие малолетних детей), привлечение в трудовую деятельность лиц, незанятых в экономике, контроль над органами труда и другие методы привлечения временно незанятого населения. Предложено расширять возможности органов труда и занятости не только для оценки перспектив включения их работы, но и для работы по выявлению и регистрации скрытой безработицыипо стимулированию организации мер снижения безработицы.

Ключевые слова: безработица, рынок труда, меры снижения безработицы

Measures to reduce unemployment

Tatyana I. Ovchinnikova [1]
Genadiy N. Strukov [1] g.strukov@inbox.ru

[1] Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Summary. The article considers socio-economic measures of reduction of unemployment. In today's economic conditions, the authors highlight the state of the labour market, characterized the level of market infrastructure development, deformity in workers ' income, level of qualification of university graduates, presence of "shadow" sector of labor market ; and also movement in the labour market: natural movement, change of pension system, high level of hidden unemployment, low wages, decline of production, migration processes. The structure of the employed by age groups is considered, the indicators characterizing both the state and the movement in the labor market are studied, the decrease in the number of workers associated with natural processes is shown (decrease of fertility and increase of the level of Population mortality). The example of one of the districts of Voronezh investigated Model determining the degree of economic efficiency of the population potential; MThe dress includes calculation of Pokazatelejpotenciala labour resources of youth unemployment indicators. It is proposed to include Further formation of the labour market and reduction of unemployment rate the following mechanisms: offshoring, increase of work experience, account of migration of population, control of outflowWorkers, released from different branches of the national economy, raising the level of skills of youth, which for the first time enters the labour force, increasing the feminization of the working population (women with young children), Employment of persons unemployed in the economy, control over labour bodies and other methods of attracting temporarily unemployed population. It is proposed to expand the capacity of the labour and employment bodies not only to assess the prospects of inclusion of their work, but also to work on identifying and registering hidden Bezraboticyipo stimulating measures to reduce unemployment.

Keywords: unemployment, labour market, measures to reduce unemployment

Введение

Развитие рыночных отношений включает важнейшую сферу экономики – рынок труда и его антипод – безработицу. Стопроцентная занятость трудовых ресурсов при социализме обеспечивалась государством, иногда применялись даже принудительные меры. Все лица, достигшие шестнадцати лет, обязаны были учиться или работать (если они не имели каких-то лимитирующих их деятельность нарушений здоровья или социально-экономических ограничений). Все трудоспособное население обеспечивалось работой, в ином случае незанятые в трудовой сфере являлись тунеядцами с соответствующим применением к ним законодательных мер. Следует особо сказать, что при формальном отсутствии безработицы в командно-административной экономике, она фактически существовала, но в «скрытом» виде, когда часть работников лишь формально числилась на работе (так, имитируя трудовую деятельность, содержались спортивные команды).

Для цитирования
Овчинникова Т.И., Струков Г.Н. Меры по снижению безработицы // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 471–478. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-471-478

For citation
Ovchinnikova T.I., Strukov G.N. Measures to reduce unemployment. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 471–478. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-471-478

В современной социально-экономической системе Российской Федерации в законодательном собрании в 2018 г. были предложены меры по снижению уровня безработицы, такие, как внесение так называемого «Закона о тунеядстве». Однако отметим, что специфической чертой рыночной экономики является именно тот факт, что человек сам решает, работать ему или нет, а государство не вправе заставлять его трудиться. Наличие рынка труда, под которым понимают составную часть системы рыночной экономики [1], характеризует не только систему общественных отношений, но и развитие социально-институциональных норм и институтов, которые обеспечивают формирование и использование рабочей силы, определяя ее цену [2, 3]. При этом необходимо учитывать тот факт, что стремление обеспечить стопроцентную занятость трудоспособного населения может привести к экономической неэффективности производства, когда на предприятиях будет наличествовать и сохраняться излишек рабочей силы.

Результаты и обсуждение

Незначительно, но все же повышающийся уровень безработицы свидетельствует о том, что развитие рынка труда нуждается в реформировании [4]. Об этом свидетельствуют ожидаемые изменения в пенсионной системе, высокий уровень скрытой безработицы, несбалансированные отношения между трудовым вкладом работающего и его доходами, все еще сохраняющиеся невыплаты заработной платы и т. д.

Большое значение, влияющее на состояние рынка труда, имеет движение на этом рынке (изменение численности населения, миграция, квалификация работников). Если численность всего населения РФ (по данным статистики) увеличивается (до 146,6 млн человек в 2017 г. с учетом Республики Крым и города федерального значения Севастополь), то численность населения трудоспособного возраста в 2015–2017 гг. сокращалась (с 84,6 млн человек в 2014 г. до 81,7 млн человек в 2017 г. (рисунок 1).

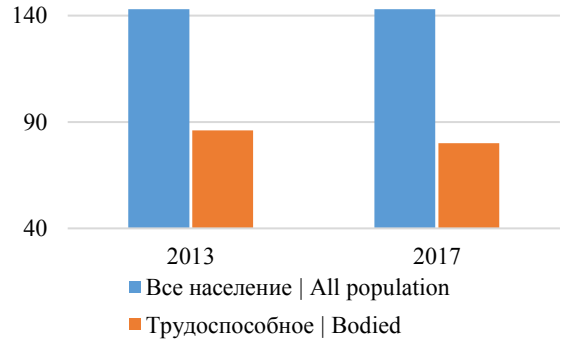


Рисунок 1. Средние значения демографического состояния и прогноз в РФ [5]

Figure 1. Average demographic status and prognosis in Russia [5]

По статистическим данным сокращение трудоспособного населения происходит из-за старения потенциальной рабочей силы, понижающей общий уровень экономической активности все большего количества людей (таблица 1).

Таблица 1.

Структура занятых по возрастным группам в России (в процентах к итогу) [6]

Table 1.

Structure of employed by age groups in Russia (percentage of total) [6]

Годы Years	Занятые в экономике – всего Employed in the economy-total	Возраст, лет | Age, years									
		≤ 20	20–24	25–29	30–34	35–39	40–44	45–49	50–54	55–59	60–72
2010	100	1,0	9,4	13,6	12,9	12,5	11,5	13,7	13,0	8,3	4,2
2012	100	0,7	8,3	14,3	13,3	12,7	11,6	12,3	13,4	8,8	4,6
2013	100	0,7	8,5	14,2	13,2	12,7	11,6	12,3	13,3	8,8	4,7
2014	100	0,6	7,8	14,5	13,5	12,8	12,0	11,8	13,3	9,0	4,8
2015	100	0,6	7,0	14,5	13,9	13,0	12,2	11,4	13,0	9,3	5,1
2016	100	0,6	6,4	14,5	14,3	13,2	12,5	11,2	12,7	9,4	5,3

Как видно из данных таблицы 1, уровень занятых наиболее высок среди людей среднего возраста (30–34 лет), однако недостаточен для людей старшего возраста, столь же экономически активных, но не востребованных в трудовой деятельности (60–74 лет).

Основной проблемой движения на рынке труда является квалификация работников: необходимы работники высокой квалификации на технологичных предприятиях, количество которых должно расти (по мнению В.В. Путина [7]), огромен перекос в структуре кадров: большой объем экономических, юридических, педагогических и других выпускников вузов, сохраняется недостаток специалистов как высокой квалификации, так и низшего звена. Анализ движения на рынке труда показал, что наем неквалифицированных работников сменяется их выбытием с практически ежегодной цикличностью, поэтому высокий уровень движения рабочей силы на рынке не отражает его результативность,

т. е. рынок труда с его занятыми, зарегистрированными и незарегистрированными на бирже труда безработными сохраняется постоянным: «…востребованность поваров, барменов и официантов сохранится… инженеров и даже рабочих, но обязательно высокой квалификации, на рынке труда останется неизменной» [8] (рисунок 2).

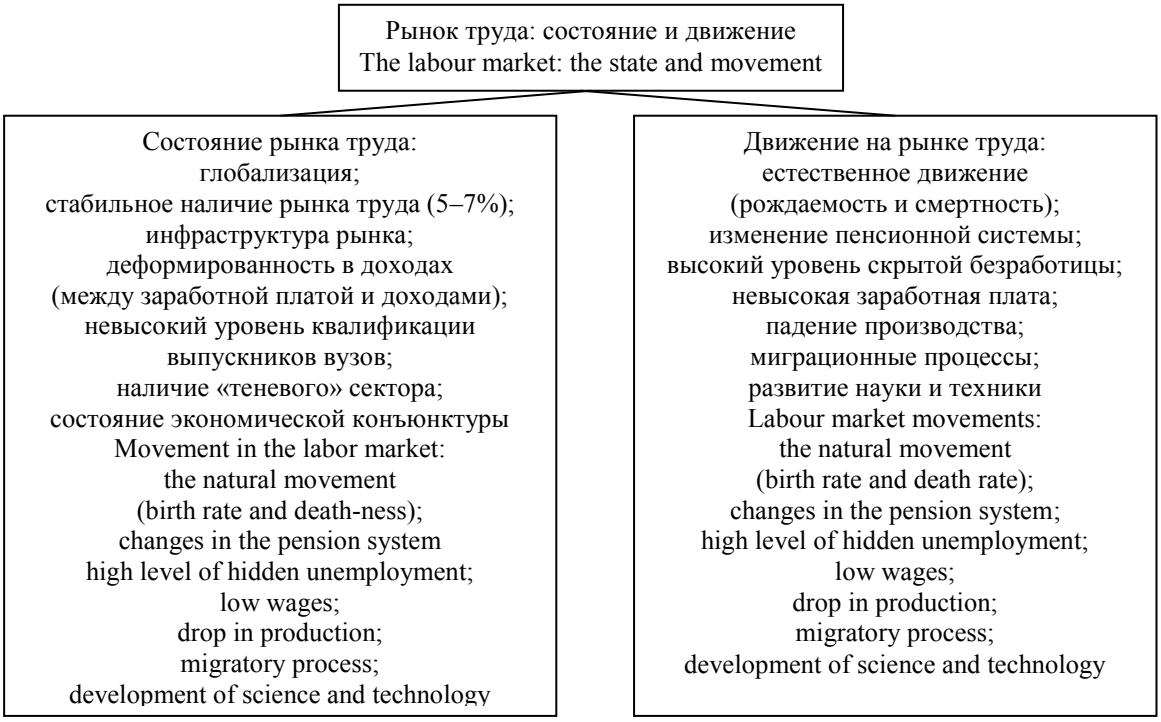


Рисунок 2. Состояние и движение на рынке труда
Figure 2. Condition and Movement of Labor market

В последнее время проявляется относительное снижение оборота перемещения рабочей силы, свидетельствующее о постепенном отклонении от социально-экономических стереотипов поведения на рынке труда и необходимости решения проблем: оффшоринга, миграции населения, развития инфраструктуры. Движению на рынке труда способствуют институциональные механизмы повышения требований к системе образования, легализации занятых, выведения безработных из «теневого» сектора экономики.

Анализ состояния экономической конъюнктуры рынка свидетельствует о сокращении рабочей силы в результате падения объема производства, но также значительными являются социально-экономические факторы: несвоевременная выдача зарплаты, что не связано с деятельностью самого предприятия, а происходит в результате необеспеченности предприятий сырьем, комплектующими изделиями, неразвитой инфраструктурой, частыми проверками, и демографические факторы (постарение населения, высокая смертность, низкая рождаемость). Приведем в пример структуру занятых по возрастным группам, свидетельствующую о постарении трудового населения (если в 2010 г. работающих свыше 60 лет в РФ было 4,2%, то в 2016 г. их стало 5,3%) (таблица 2).

Считаем, что в дальнейшем формирование рынка труда будет происходить за счет:

- оффшоринга или аутсорсинга, т. е. работников, привлеченных «со стороны» для выполнения каких-то операций;
- увеличения трудового стажаработающих;
- увеличения уровня миграции населения;
- привлечения уволенных по разным причинам работников из различных отраслей народного хозяйства;
- привлечения в трудовую деятельность молодежи, которая впервые поступает на работу;
- привлечения феминистского экономически активного населения (женщины, имеющих малолетних детей, могут работать по «скользящему» графику);
- привлечения временно незанятого населения;
- привлечения пенсионеров по возрасту, инвалидов;
- привлечения отслуживших в армии молодых экономически активных людей.

Таблица 2.

Структура занятых по возрастным группам в России (в процентах к итогу) [9]

Table 2.

Structure of employed by age groups in Russia (percentage of total) [9]

Годы Years	Занятые в экономике – всего Employed in the economy-total	Возраст, лет | Age, years									
		≤ 20	20–24	25–29	30–34	35–39	40–44	45–49	50–54	55–59	60–72
2010	100	1,0	9,4	13,6	12,9	12,5	11,5	13,7	13,0	8,3	4,2
2012	100	0,7	8,3	14,3	13,3	12,7	11,6	12,3	13,4	8,8	4,6
2013	100	0,7	8,5	14,2	13,2	12,7	11,6	12,3	13,3	8,8	4,7
2014	100	0,6	7,8	14,5	13,5	12,8	12,0	11,8	13,3	9,0	4,8
2015	100	0,6	7,0	14,5	13,9	13,0	12,2	11,4	13,0	9,3	5,1
2016	100	0,6	6,4	14,5	14,3	13,2	12,5	11,2	12,7	9,4	5,3

Необходимо расширять деятельность органов труда и занятости для оценки и обеспечения перспектив развития рынка труда (проведение мероприятий по выявлению и регистрации скрытой безработицы, а также стимулирующие меры по организации географической миграции населения).

Считаем необходимым отработать механизм «поиска середины» – предотвращение массовой безработицы в результате постепенного высвобождения работников с неэффективно действующих предприятий с их переориентацией на высокотехнологичные рабочие места.

Решить проблему увеличения занятости необходимо комплексно (рисунок 3): во-первых, государство создает атмосферу социальной стабильности и защищенности населения (при этом происходит перевод скрытой безработицы в открытую); во-вторых, региональные органы проводят верификацию за положением на рынке труда своего региона, создают условия для снижения уровня безработных с учетом повышения пенсионного возраста; в-третьих, необходимы изменения в деятельности системы образования, когда вузы и колледжи выпускали бы специалистов не только подготовленных теоретически, но и практически, умеющих выполнять необходимые для работы операции [8–11].

На примере анализа рынка труда городского округа (г. Воронеж), возрастного состава его населения рассмотрим модель, определяющую степень экономической эффективности рынка труда.

Если в 2015 г. численность трудовых ресурсов г. Воронежа составляла 634,3 тыс. чел. (68,6% общей численности населения), общая численность безработных в Воронеже составляла 34,7 тыс. чел. (7,0% его экономически активного населения), то уровень официально зарегистрированной безработицы на 2016 г. составил 1,6% [10].

По мнению экспертов, 2/3 рынка труда или безработных N района г. Воронежа – это экономически активные лица, имеющие трудовой стаж, но оставшиеся без работы в результате ликвидации предприятия или собственного дела [12, 13]. Средний возраст безработных – 33,9 года (данные взяты из отчета районной администрации г. Воронежа).

Уровень безработицы среди молодёжи до 20 лет составляет 21,5% от трудоспособного населения этой возрастной группы, от 20 до 24 лет – 10,6% (по данным экспертов).

По тем же данным около 40% безработных имеют высшее или среднее профессиональное образование.

Как определяют исследователи рынка труда, «наиболее многочисленную группу среди безработных составляют водители (12%), продавцы (7%), имеющие низкую квалификацию. Безработные специалисты N района г. Воронежа представлены следующим образом (данные экспертов):

- инженеры и техники – 30%;
- экономисты – 27%;
- преподаватели – 15%;
- врачи и другие работники здравоохранения – 9%.

Предлагаем модель, определяющую эффективность рынка труда в исследуемом регионе, она включает показатели потенциального ресурса рабочей силы, определяемой следующими показателями: коэффициент нагрузки населения трудоспособного возраста, коэффициент трудоспособности всего населения, коэффициент трудоспособности населения трудоспособного возраста, коэффициент занятости всего населения и показатели безработицы.

1. Показатели потенциального ресурса рабочей силы Для характеристики потенциального уровня экономической эффективности занятости населения из общей его численности отнимем численность неработающих инвалидов, но находящихся в экономически активном возрасте, пенсионеров, ушедших на пенсию на льготных условиях и безработных.

Определим на основе указанных показателей коэффициенты, обосновывающие степень трудоспособности и занятости.

Действие институциональных органов:
пересмотреть и доработать законодательную базу;
откорректировать политику в области трудоустройства;
найти возможности дополнительного финансирования государственных программ и мероприятий в направлении занятости, в том числе географическую миграцию населения;
разработать систему поощрений, льготного инвестирования и налогообложения регионов с низким уровнем безработицы (тем самым стимулировать местную администрацию в приоритетности решения проблемы занятости)
Action by institutional bodies:
objective: to review and improve the legal framework;
to adjust policy in the field of employment;
find opportunities for additional financing of state programs and measures in the direction of employment, including geographical migration of the population;
to develop a system of incentives, preferential investment and taxation regions with low unemployment rate (thereby stimulating the local administration of the priority of solving the problem of employment)

Действие региональных органов: органам местной администрации необходимо наблюдать за положением на рынке труда своего региона:
способствовать созданию необходимого количества государственных и коммерческих специализированных институтов, занимающихся трудоустройством, профессиональным консультированием, психологической поддержкой (специализированных агентств для молодежи, кадровых агентств, центров социально-психологической помощи, бирж труда и т.п.);
верификация деятельности государственных служб занятости и городской биржи труда, оказывая необходимую финансовую помощь и организационно-правовую поддержку (при выплате пособий, оплате стажировок, финансировании и организации профессионально-консультационных массовых мероприятий и т.п.);
формировать государственный заказ для вузов на такие специальности, которые соответствуют требованиям времени и условиям сложившегося рынка труда;
обеспечивать тесную взаимосвязь в системе: местные органы самоуправления – вузы – рынок труда;
стимулировать предприятия и частных предпринимателей в увеличении количества молодых специалистов при формировании кадрового потенциала фирм (проводить на базе бирж труда и кадровых агентств консультационно-разъяснительные семинары с работодателями; выделять необходимые финансовые средства на начальном этапе апробации молодого специалиста, ввести квотирование численности молодых специалистов на предприятиях, организовывать курсы по планированию кадровой политики для частных предпринимателей
Action by regional authorities: local authorities need to monitor the labour market situation in their region:
to contribute to the creation of the necessary number of state and commercial specialized institutions engaged in employment, professional advice, psychological support (specialized agencies for young people, recruitment agencies, centers for social and psychological assistance, labor exchanges, etc.).);
verification of the activities of the state employment services and the city labor exchange, providing the necessary financial assistance and organizational and legal support (in the payment of benefits, payment of internships, financing and organization of professional consulting events, etc.).);
to form a state order for universities for such specialties that meet the requirements of the time and the conditions of the current labor market;
ensure close interaction in the system: local self-government-universities-labor market;
encourage enterprises and private entrepreneurs to increase the number of young professionals in the formation of the personnel potential of firms (to conduct on the basis of labor exchanges and recruitment agencies consulting and explanatory seminars with employers; to allocate the necessary funds at the initial stage of testing a young specialist, to introduce quotas for the number of young professionals in enterprises, to organize courses on planning personnel policy for private entrepreneurs

Действие образовательных учреждений: необходима перестройка в образовательной деятельности современных учебных заведений в целях повышения качества специалиста:
выпускник должен иметь четкую профессиональную направленность (для этого необходимо ввести в любое высшее учебное заведение специальную дисциплину/курс - “Планирование профессиональной карьеры”);
выпускник должен быть уверен в востребованности своих знаний (специальности должны подбираться не только с целью коммерческой выгоды на сегодняшний день, но и с учетом перспективных тенденций на рынке труда; ввести в практику последипломную стажировку на предприятиях в течение, приблизительно, шести месяцев);
вуз должен быть нацелен не на набор, а на выпуск, т.е. на базе любого современного вуза должна работать своя кадровая служба по работе с выпускниками (либо заключен договор со специализированными агентствами), обеспечиваться устойчивые взаимосвязи с действующими предприятиями-работодателями, организовываться курсы дополнительной специализации и повышения квалификации, практиковаться распределение на предприятия хотя бы наиболее перспективных выпускников
Action of educational institutions: it is necessary to restructure the educational activities of modern educational institutions in order to improve the quality of the specialist:
the graduate must have a clear professional orientation (for this it is necessary to enter into any higher education institution a special discipline/course - “professional career Planning”); the graduate must be confident in the demand for their knowledge (specialties must be selected not only for the purpose of commercial benefits to date, but also taking into account promising trends in the labor market; put into practice postgraduate training in enterprises for about six months).);
the University should be aimed not at recruitment, but at graduation, i.e. on the basis of any modern University should operate its own personnel service to work with graduates (or a contract with specialized agencies), to ensure stable relationships with existing enterprises-employers, to organize courses of additional specialization and training, to practice the distribution of the enterprises at least the most promising graduates.

Рисунок 3. Комплекс мер по снижению безработицы

Figure 3. A set of measures to reduce unemployment

Для связи с редакцией: post@vestnik-vsuet.ru

Коэффициент «нагрузки» населения. Рассчитывается как отношение численности населения (выше 55 лет женщин и 60 лет мужчин и ниже 16 лет), находящегося выше или ниже границ пока существующего трудоспособного возраста, к численности экономически активного населения в трудоспособном возрасте:

$$К_н = Ч_{нтв} / Ч_{тв} \cdot 1000 \text{ (промилле)},$$

где $К_н$ – коэффициент нагрузки; $Ч_{нтв}$ – численность населения выше или ниже границ трудоспособного возраста; $Ч_{тв}$ – численность населения трудоспособного возраста.

Коэффициент «трудоспособности» ($К_{тс}$) всего населения, живущего в N районе, – отношение количества трудоспособного населения в законодательно допустимом трудоспособном возрасте ($Ч_{т.тв}$) к общей численности населения рассматриваемого района (Ч):

$$К_{тс} = Ч_{т.тв} / Ч \cdot 1000 \text{ (промилле)}$$

Коэффициент «трудоспособности населения трудоспособного возраста» ($К_{тт}$), характеризующий отношение количества трудоспособного населения в трудоспособном возрасте к количеству экономически активного населения в трудоспособном возрасте:

$$К_{тт} = Ч_{т.тв} / Ч_{тв} \cdot 1000 \text{ (промилле)}$$

Коэффициент «занятости» населения ($К_з$), живущего в рассматриваемом районе, рассчитывается без учёта обучающихся с отрывом от производства ($Ч_з$). При расчете указанного коэффициента учитывают трудовую миграцию:

$К_з = Ч_з / Ч \cdot 1000$ (промилле) (отрыв от производства, миграция).

Коэффициент «занятости» населения трудоспособного возраста ($К_{зт}$):

$$К_{зт} = Ч_{з.тв} / Ч_{тв} \cdot 1000 \text{ (промилле)}$$

Коэффициент «занятости трудоспособного населения в трудоспособном возрасте» ($К_{зт.т}$):

$$К_{зт.т} = Ч_{зт} / Ч_{ттв} \cdot 1000 \text{ (промилле)}$$

2. Показатели безработицы.

В рыночной сфере стопроцентная занятость невозможна, поскольку она свидетельствует об отсутствии рынка труда.

Наиболее важный для современной экономики показатель – это норма молодежной безработицы ($Н_{м.б}$), который рассчитывается как доля в процентах в общей численности трудоспособного населения молодежи($Ч_б$). Это экономически активная часть населения, но не занятая в трудовой деятельности:

$$Н_{м.б} = Ч_б / Ч_т \cdot 1000 \text{ (промилле)}$$

Данная модель может быть реализована на основе компьютерной программы (на базе табличного процессора MS Excel), которая автоматически просчитывает данные показатели и коэффициенты (рисунок 1).

N21 =

	A	L
1	***Рассчет коэффициентов трудоспособности, занятости, безработицы***	
2	Коэффициент нагрузки населения трудоспособного возраста	0,721617
3	Коэффициент трудоспособности всего населения	0,483333
4	Коэфицент трудоспособности населения трудоспособного возраста	0,676516
5	Норма безработицы	2,666667
6	Маятниковая миграция	0,777778
7	Коэфицент занятости населения трудоспособного возраста	0,979782
8	Коэфицент занятости трудоспособного населения в трудоспособном возрасте	1,241379
9		
10		
11		
12	***Введите указанные показатели***	тыс. чел.
13	Численность населения за границами трудоспособного возраста	464
14	Численность населения в трудоспособном возрасте	643
15	Численность трудоспособного населения в трудоспособном возрасте	435
16	Общая численность населения	900
17	Численность занятых	700
18	Численность занятых в трудоспособном возрасте	630
19	Численность трудоспособных занятых в трудоспособном возрасте	540
20	Общая численность трудоспособного населения	800
21	Численность незанятых трудоспособных	300

Рисунок 4. Расчет коэффициентов занятости, трудоспособности и безработицы

Figure 4. Calculation of rates of employment, work capacity and unemployment

Показатели свидетельствуют о необходимости увеличивать количество рабочих мест (300 человек в районе безработных), о повышении нагрузки для трудоспособного населения (0,72%), о необходимости увеличения числа работающих (за счет миграции или увеличения количества работающих пенсионеров, в том числе в результате повышения пенсионного возраста).

Выводы

Ожидаемого сокращения темпов прироста рабочей силы и связанного с этим снижения производительности труда, можно избежать, если учесть негативные стереотипы и развивать институциональные, региональные и организационные меры в развитии рынка труда: переориентацию форм занятости, связанную с высокими технологиями, процессы старения населения в обществе, но сохраняющего физический и умственный потенциал, экономическую и социальную дискриминацию работников предприятий. На государственном уровне, как правило, решаются проблемы структурной безработицы, низкого уровня образования, увеличения пенсионного возраста, географическая подвижность рабочей силы и т. д. На региональном уровне оптимизируется работа административных органов, на организационном уровне необходимо развитие эффективного производства, требующего большего количества высокопрофессиональных работников

ЛИТЕРАТУРА

1 Рофе А.И. Рынок труда: учебник. М.: КНОРУС, 2018. 260 с.

2 Ермолаева С.Г. Рынок труда: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2015. 108 с.

3 Кашепов А.В., Сулакшин С.С., Малчинов А.С. Рынок труда: проблемы и решения: монография. М.: Научный эксперт, 2008. 227 с.

4 Булгакова И.Н., Овчинникова Т.И. Оценка рисков в работе с персоналом в системе экономической безопасности предприятия // Экономика и предпринимательство. 2017. № 8. С. 903–911.

5 Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на 2015 год и на плановый период 2016 и 2017 годов. М., 2014. 369 с. URL: http://economy.gov.ru/minec/activity/sections/macro/prognoz/201409261

6 Российский статистический ежегодник. 2017: Стат.сб./Росстат. М., 2017. 686 с. URL: http://www.gks.ru/free_doc/doc_2017/year/year17.pdf

7 Статистический сборник. Воронеж, 2017. 201 с.

8 Cuestas J.C., Ordonez J., Staehr K. Unit labour costs and the dynamics of output and unemployment in the southern European crisis countries // Empirica. 2018. P. 1–20.

9 Farm A. Measuring the Effect of Matching Problems on Unemployment // International Labour Review. 2017.

10 Helliwell J.F., Huang H. New measures of the costs of unemployment: Evidence from the subjective well- being of 3.3 million Americans // Economic Inquiry. 2014. V. 52. № 4. P. 1485–1502.

11 Dieckhoff M., Gash V. Unemployed and alone? Unemployment and social participation in Europe // International Journal of Sociology and Social Policy. 2015. V. 35. № 1/2. P. 67–90.

12 Мирошкин П.П., Неклюдов В.С., Клюева Ю.С. О некоторых особенностях торгового менеджмента // Вестник НГИЭИ. 2016. № 7 (62). С. 88-95.

13 Хорев А.И., Овчинникова Т.И., Кобелева С.В. Развитие конкурентоспособных инновационных производств на основе интенсификации труда // Экономика. Инновации. Управление качеством. 2014. № 2 (7). С. 9–16.

REFERENCES

1 Rofe A.I. Rynok truda [Labor market: textbook]. Moscow, KNORUS, 2018. 260 p. (in Russian).

2 Ermolaeva S.G. Rynok truda [Labor market: textbook]. Ekaterinburg, Publishing House Ural. University, 2015. 108 p. (in Russian).

3 Kashepov A.V., Sulakshin S.S., Malchinov A.S. Rynok truda: problemy i resheniya [Labor market: problems and solutions: monograph]. Moscow, Scientific expert, 2008. 227 p. (in Russian).

4 Bulgakova I.N., Ovchinnikova T.I. Risk assessment in working with personnel in the system of economic security of an enterprise. *Ehkonomika i predprinimatel'stvo* [Economy and entrepreneurship]. 2017. no. 8. pp. 903–911. (in Russian).

5 Prognoz sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na 2015 god i na planovyy period 2016 i 2017 godov [Forecast of the socio-economic development of the Russian Federation for 2015 and for the planning period of 2016 and 2017]. Moscow, 2014. 369 p. Available at: http://economy.gov.ru/minec/activity/sections/macro/prognoz/201409261 (in Russian).

6 Rossiyskiy statisticheskiy yezhegodnik 2017 [Russian statistical yearbook 2017: Stat.book/Rosstat]. Moscow, 2017. 686 p. Available at: http://www.gks.ru/free_doc/doc_2017/year/year17.pdf (in Russian).

7 Statisticheskiy sbornik [Statistical collection]. Voronezh, 2017. 201 p. (in Russian).

8 Cuestas J.C., Ordonez J., Staehr K. Unit labour costs and the dynamics of output and unemployment in the southern European crisis countries. Empirica. 2018. pp. 1–20.

9 Farm A. Measuring the Effect of Matching Problems on Unemployment. International Labour Review. 2017.

10 Helliwell J.F., Huang H. New measures of the costs of unemployment: Evidence from the subjective well-being of 3.3 million Americans. Economic Inquiry. 2014. vol. 52. no. 4. pp. 1485–1502.

11 Dieckhoff M., Gash V. Unemployed and alone? Unemployment and social participation in Europe. International Journal of Sociology and Social Policy. 2015. vol. 35. no. 1/2. pp. 67–90.

12 Miroshkin P.P., Neklyudov V.S., Klyueva Yu.S. On some features of trade management. *Vestnik NGIEI* [Herald NGIEI]. 2016. no. 7 (62). pp. 88-95. (in Russian).

13 Khorev A.I., Ovchinnikova T.I., Kobeleva S.V. The development of competitive innovative industries based on the intensification of labor. *Ekonomika. Innovatsii. Upravleniye kachestvom* [Economy. Innovation. Quality control]. 2014. no. 2 (7). pp. 9–16. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Татьяна И. Овчинникова д.э.н., профессор, кафедра экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Геннадий Н. Струков к.э.н., доцент, кафедра управления, организации производства и отраслевой экономики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, g.strukov@inbox.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Татьяна И. Овчинникова консультация в ходе исследования
Геннадий Н. Струков написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 12.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 07.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Tatyana I. Ovchinnikova Dr. Sci. (Econ.), professor, economic security and financial monitoring department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Genadiy N. Strukov Cand. Sci. (Econ.), associate professor, management, organization of production and sectoral economics department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, g.strukov@inbox.ru

CONTRIBUTION

Tatyana I. Ovchinnikova consultation during the study
Genadiy N. Strukov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.12.2018

ACCEPTED 11.7.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 334.75

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-479-483

О возможности применения зарубежного опыта использования государственно-частного партнерства в строительстве

Игорь В. Линев [1] Shunka1956@yandex.ru
Наталия А. Федотова [1] natalini1502@gmail.com

[1] МИТУ-МАСИ, ул. Большая Черемушкинская, 17а, Москва, 117447, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены возможности применения зарубежного опыта использования государственно-частного партнерства (ГЧП) в строительстве, представлены классификации форм партнерства государственного и частного сектора. В экономической практике, помимо традиционных контрактов на строительный подряд в ряде развивающихся зарубежных стран широкое применение нашли комбинации контрактов на обслуживание, контрактов на управление, договоров об аренде, контрактов на строительство, эксплуатацию, передачу и их разновидностей, концессий. Развитие ГЧП привело к контрактам с продолжительным гарантийным сроком (до 10 лет), после в договор добавили эксплуатацию и обслуживание на протяжение гарантийного срока контракта. Для уменьшения затрат по эксплуатации объекта у частного партнёра появляется мотивация применять современные и эффективные решения еще на стадии проектирования. Более подробно рассмотрены формы непосредственно связанные со строительством. На основе зарубежного опыта произведена оценка подрядных отношений в России и возможности применения контрактов, основанных на зарубежных формах. Наиболее показательными являются следующие формы: Проектирование-Строительство, Строительство-Эксплуатация-Передача, Строительство-Передача-Эксплуатация, Собственность-Эксплуатация-Передача, Строительство-Собственность-Эксплуатация, Проектирование-Финансирование-Строительство-Эксплуатация, Строительство-Аренда-Передача-Поддержание, Аренда-Ремонт-Эксплуатация-Передача. В Российской практике подрядные отношения основаны на разделении форм «Проектирование» и «Строительство», при этом устаревшая в развитых зарубежных странах форма «Проектирование-Строительство» считается в отечественной экономике прогрессивной. Для развития строительной отрасли необходимо не только рассматривать классификацию форм ГЧП, но и предусматривать возможность использования эволюционного развития подрядных отношений прошедших в зарубежной практике и возможность применения их в Российской экономике.

Ключевые слова: государственно-частное партнерство, контракт жизненного цикла, проектирование, строительство, ремонт и сервис, эксплуатация, финансирование

About opportunity of foreign experience application of public-private partnership in construction

Igor V. Linev [1] Shunka1956@yandex.ru
Natalia A. Fedotova [1] natalini1502@gmail.com

[1] MITU-MASI, Bolshaya Cheremushkinskaya str., 17a, Moscow, 117447, Russia

Abstract. The article discusses the possibilities of applying foreign experience in using public-private partnerships (PPP) in construction, presents classifications of forms of public-private partnerships. In economic practice, in addition to traditional construction contracts in a number of developing foreign countries, combinations of service contracts, management contracts, leases, construction, operation, transfer and variety of contracts, concessions have found wide application. The development of PPPs led to contracts with a long warranty period (up to 10 years), after which the operation and maintenance services were added to the contract throughout the warranty period of the contract. To reduce the cost of operating the facility, a private partner has the motivation to apply modern and effective solutions at the design stage. The forms directly related to construction are considered in more detail. On the basis of foreign experience, contractor relations in Russia and the possibility of applying contracts based on foreign forms were evaluated. The most significant are the following forms: Design-Construction, Construction-Operation-Transfer, Construction-Transfer-Operation, Property-Operation-Transfer, Construction-Property-Operation, Design-Finance-Construction-Operation, Construction-Rent-Transfer-Maintenance, Rent-Repair-Operation-Transfer. In the Russian practice, contractual relations are based on the separation of the forms “Design” and “Construction”, while the outdated form in the developed foreign countries “Design-Construction” is considered progressive in the domestic economy. For the development of the construction industry, it is necessary not only to consider the classification of PPP forms, but also to provide for the possibility of using the evolutionary development of contractual relations that have passed in foreign practice and the possibility of using them in the Russian economy.

Keywords: public-private partnership, contract of life cycle, design, construction, repair and service, operation, financing

Введение

Рассматривая вопросы о возможности применения зарубежного опыта использования государственно-частного партнерства (ГЧП) в строительстве необходимо идентифицировать предмет исследования.

Согласно определению известного специалиста в этой области В.Г. Варнавского в современном понимании ГЧП – это институциональный и организационный альянс между государством и бизнесом в целях реализации национальных и международных, масштабных и локальных, но всегда общественно значимых проектов в широком спектре сфер деятельности: от развития стратегически важных отраслей промышленности и научно-исследовательских конструкторских работ до обеспечения общественных услуг.

В соответствии с Федеральным законом «О государственно-частном партнерстве, муниципально-частном партнерстве в Российской Федерации и внесении изменений в отдельные

Для цитирования
Линев И.В., Федотова Н.А. О возможности применения зарубежного опыта использования государственно-частного партнерства в строительстве // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 479–483. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-479-483

For citation
Linev I.V., Fedotova N.A. About opportunity of foreign experience application of public-private partnership in construction. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 479–483. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-479-483

законодательные акты Российской Федерации» государственно-частное партнерство, муниципально-частное партнерство – юридически оформленное на определенный срок и основанное на объединении ресурсов, распределении рисков сотрудничество публичного партнера, с одной стороны, и частного партнера, с другой стороны, которое осуществляется на основании соглашения о государственно-частном партнерстве, соглашения о муниципально-частном партнерстве, заключенных в соответствии с настоящим законом в целях привлечения в экономику частных инвестиций, обеспечения органами государственной власти и органами местного самоуправления доступности товаров, работ, услуг и повышения их качества [1].

Указанное партнерство может принимать различные формы и модели, при этом под моделью мы понимаем конкретный проект ГЧП, возникший в результате законной и прозрачной процедуры отбора соответствующих участников ГЧП со стороны частного бизнеса для решения конкретных задач экономической политики государства, а под формой – правовое основание реализации конкретной модели ГЧП.

Материалы исследования

В отечественной и иностранной литературе указано достаточно много классификаций форм и моделей.

С нашей точки зрения наибольший интерес представляет собой нетрадиционный подход к классификации, рассматриваемый в этой статье.

В экономической практике, помимо традиционных контрактов на строительный подряд, в ряде развивающихся стран широкое применение нашли комбинации контрактов на обслуживание, контрактов на управление, договоров об аренде, контрактов на строительство, эксплуатацию, передачу и их разновидности, концессий.

С определенной долей условности эти комбинации можно систематизировать (таблица 1).

Таблица 1.

Комбинация форм партнерства государственного и частного сектора [2]

Table 1.

A combination of public-private partnerships [2]

	Форма	Английское наименование	Русский перевод
1	DB	Design-Build	Проектирование-Строительство
2	BOT	Build-Operate-Transfer	Строительство-Эксплуатация-Передача
3	BTO	Build-Transfer-Operate	Строительство-Передача-Эксплуатация
4	BOOT	Build-Own-Operate-Transfer	Строительство-Собственность-Эксплуатация-Передача
1	BOO	Build-Own-Operate	Строительство-Собственность-Эксплуатация
6	DBFO	Design-Build-Finance-Operate	Проектирование-Строительство-Финансирование-Эксплуатация
7	BLTM	Build-Lease-Transfer-Maintain	Строительство-Аренда-Передача-Поддержание
8	LROT	Lease-Renovate-Operate-Transfer	Аренда-Ремонт-Эксплуатация-Передача
9	BOL/BOLT	Build-Operate-Lease (Transfer)	Строительство-Эксплуатация-Аренда (Передача)
10	BOMT	Build-Operate-Maintain-Transfer	Строительство-Эксплуатация-Обслуживание-Передача.
11	DBOOT	Design-Build-Own-Operate-Transfer	Проектирование-Строительство-Владение-Эксплуатация-Передача
12	BBO	Buy-Build-Operate	Покупка-Строительство-Эксплуатация
13	DBFO	Design-Build-Finance-Operate	Проектирование-Строительство – Финансирование-Эксплуатация
14	DFBO	Design-Finance-Build-Operate	Проектирование-Финансирование-Строительство-Эксплуатация

При рассмотрении этих форм ГЧП целесообразно применить подход, в основе которого лежат отношения собственности. С этой точки зрения наиболее показательными являются следующие формы:

DB (Design-Build (в переводе с англ. Проектирование-Строительство).

Целью заключения контракта между государством и частным партнером является оказание услуг по архитектурному и инженерному проектированию и последующему строительству объекта. Риски, которые могут произойти по причине ошибок, допущенных в проектно-сметной документации, лежат на подрядной организации. Это вынуждает частного партнера более тщательно прорабатывать проектные и рабочие решения, а также соблюдать технологии при выполнении строительно-монтажных работ [5–10].

BOT (Build-Operate-Transfer (в переводе с англ. Строительство-Эксплуатация-Передача).

При этой форме партнерство длится в течение определенного срока от 10 до 30 лет. В этот период частный партнер осуществляет строительство и управление объектом, а также поддерживает его надлежащее состояние. В период управления объектом возмещаются затраты на строительство путем сбора платежей. При заключении договора ГЧП обычно оговаривается передача объекта, всех операционных прав и обязанностей по его обслуживанию государству после окончания срока договора.

BTO (Build-Transfer-Operate (в переводе с англ. Строительство-Передача-Эксплуатация).

Финансирование строительства объекта осуществляет частный партнер. После ввода в эксплуатацию объект передается в юридическую собственность государству, которое по долгосрочному договору сдает в аренду этот объект. Средствами от реализации долгосрочного договора управляет частный партнер, тем самым зарабатывая возвращение вложенных финансов за счет пользовательский платежей.

BOOT (Build-Own-Operate-Transfer (в переводе с англ. Строительство-Собственность-Эксплуатация-Передача).

Эта форма ГЧП предполагает, что в течение всего периода договора объект находится в собственности частного партнера, при этом на него распространяются все операционные права. По истечению срока договора ответственность и операционные права передаются государству.

BOO (Build-Own-Operate (в переводе с англ. Строительство-Собственность-Эксплуатация).

Часто при реализации BOO объекты предоставляются частному партеру без необходимости возвращения собственности государству, но в процессе реализации проекта это положение может быть пересмотрено при традиционном подходе. Частный партнер владеет неограниченное время объектом, после того как построит его и эксплуатирует.

DFBO (Design-Finance-Build-Operate (в переводе с англ. Проектирование-Финансирование-Строительство-Эксплуатация).

Частный партнер финансирует проект, несет ответственность за проектирование, строительство, обслуживание и получает долгосрочное право на доступ к объекту. Для этой формы в полной мере подходит обобщающее понятие LCC (Life Cycle Contracts (в переводе с англ. Контракт Жизненного Цикла (КЖЦ)). Бизнес, используя КЖЦ, ведет реконструкцию объекта, затем управляет им в течение установленного договором срока или пока не получит разумное возвращение за инвестированный капитал. Эта форма ГЧП очень интересна в случае нехватки бюджетных средств на реконструкцию объекта.

И по этой же причине наиболее актуально в современных условиях, обусловленных кризисными явлениями и внешними ограничениями.

Кроме перечисленных, существуют и другие разновидности форм:

BLTM (Build-Lease-Transfer-Maintain (в переводе с англ. Строительство-Аренда-Передача-Поддержание).

Частный сектор, как правило, выполняет разработку проектной и рабочей документации, осуществляет строительство, финансирует объект, после чего объект сдается в аренду государству. Срок сдачи в аренду и размер платы оговаривается в договоре ГЧП.

LROT (Lease-Renovate-Operate-Transfer (в переводе с англ. Аренда-Ремонт-Эксплуатация-Передача).

Объект, находящийся в государственной собственности, подлежащий модернизации, передается частному партнеру, который берет на себя обязательства по ремонту, а также платит за него арендную плату. В течение заранее установленного срока частный партнер имеет право управлять объектом и взыскивать плату за обслуживание.

Развитие форм ГЧП с точки зрения подрядных отношений.

Развитие форм ГЧП в зарубежной практике с точки зрения подрядных отношений показано на рисунке 1 и представляет наибольший интерес для компаний, занимающихся строительной деятельностью.



Рисунок 1. Развитие форм ГЧП в зарубежной практике с точки зрения подрядных отношений

Figure 1. Development of PPP forms in foreign practice from the point of view of contractual relations

Вершиной развития подрядных отношений является DBMOF (КЖЦ), а в основу положено проектирование D. Стандартный контракт строительного подряда (B) производится обычно по аукциону, до проведения которого государство уже приобрело проектно-сметную документацию. Как правило, согласно главному принципу аукционных торгов выбирают строительного подрядчика, готового построить объект «дешевле всех», а не лучшего. Это является основным недостатком. Подрядчик в этом случае всегда может сослаться на несовершенство проектной документации. Государство берет на себя все риски от недочетов и ошибок проектно-сметной документации. Развитые страны отказываются от разделения строительства и проектирования, так как этому методу присуща ключевая причина проблем с качеством возводимых объектов. Применяя форму DB, государство получает несравнимо больше, чем при форме D, а также может предоставить компенсации затрат на создание предварительной проектно-сметной документации нескольким проигравшим участникам конкурса.

Развитие ГЧП привело к контрактам с продолжительным гарантийным сроком (до 10 лет), после в договор добавили эксплуатацию и обслуживание на протяжение гарантийного срока контракта. С определенной долей условности к КЖЦ можно отнести более сложные контракты DBM (Design-Build-Main, (в переводе с англ. Проектирование-Строительство-Ремонт и сервисное обслуживание) и DBMO (Design-Build-Main-Operated, (в переводе с англ. Проектирование-Строительство-Ремонт и сервисное обслуживание-Эксплуатация) ведь в течение всего жизненного цикла подрядчику необходимо поддерживать эксплуатационные свойства объекта. Для уменьшения затрат по эксплуатации объекта у частного партнёра появляется мотивация применять современные и эффективные решения еще на стадии проектирования, ведь средства, сэкономленные на эксплуатации, – доход бизнеса. Следующим шагом в развитии является DBMOF (Design-Build-Main-Operate-Finance, (в переводе с англ. Проектирование-Строительство – Ремонт и сервис-Эксплуатация-Финансирование). Эта форма хорошо зарекомендовала себя во многих развитых странах. Добавление самостоятельного финансирования к обязательствам предполагает, что государство не инвестирует в объект и его инфраструктуру, а сразу покупает готовый сервис.

Кроме того, форма DBMOF представляет собой дальнейшее развитие DFBO.

Выводы и предложения

Для развития строительной отрасли необходимо не только рассматривать классификацию форм ГЧП, но и предусматривать возможность использования эволюционного развития подрядных отношений в зарубежной практике и применения его в российской экономике.

В российской практике подрядные отношения основаны на разделении форм D и B, при этом устаревшая в развитых странах форма DB считается в отечественной экономике прогрессивной.

Справедливости ради стоит отметить, что наиболее развитые российские компании используют подрядные отношения более высокого уровня.

ЛИТЕРАТУРА

1 О государственно-частном партнерстве, муниципально-частном партнерстве в Российской Федерации и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации (Федеральный закон № 224-ФЗ от 13.07.2015).

2 Линев И.В. Развитие государственно-частного партнерства в системе социальной и производственной инфраструктуры Российской Федерации: монография. М.: МАКС ПРЕСС, 2016. 324 с.

3 Данько К., Сучкова В. Государственно-частное партнерство в коммунальной сфере в условиях кризиса // Корпоративный юрист. 2009. № 5.

4 Bensen E.D., Kidweli D.S., Koch T.W., Rogowski R.J. Systematic variation in yield spreads for tax-exempt general obligation bond // Journal of Financial and Quantitative Analysis. 1980. V. 16. № 5.

5 For the God of the People : Using Public-Private Partnerships To Meet America`s Essential Needs. URL: https://ncppp.org/.

6 Loosemore M., Cheung E. Implementing systems thinking to manage risk in public private partnership projects // International Journal of Project Management. 2015. V. 33. №. 6. P. 1325–1334.

7 Liu J., Love P.E.D., Smith J., Regan M. Life cycle critical success factors for public-private partnership infrastructure projects // Journal of Management in Engineering. 2014. V. 31. № 5. P. 04014073.

8 Veselovsky M.Y., Gnezdova J.V., Menshikova M.A., Izmailova M.A. et al. Mechanism of Use of Public and Private Partnership in Order to Develop Innovative Economy // Journal of Applied Economic Sciences. 2015. V. 10. № 5 (35). P. 625−634.

9 Chou J.S., Pramudawardhani D. Cross-country comparisons of key drivers, critical success factors and risk allocation for public-private partnership projects // International Journal of Project Management. 2015. V. 33. № 5. P. 1136–1150.

10 Rouhani O.M. et al. Social welfare analysis of investment public–private partnership approaches for transportation projects // Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2016. V. 88. P. 86–103.

11 Горшков Д.О., Корнилов Д.А. Реинжиниринг отдельных бизнес-процессов как средство нахождения новых точек роста сбытовой сети // Вестник НГИЭИ. 2017. № 11 (78). С. 148-161.

12 Хорев А.И., Овчинникова Т.И., Кобелева С.В. Развитие конкурентоспособных инновационных производств на основе интенсификации труда // Экономика. Инновации. Управление качеством. 2014. № 2 (7). С. 9–16.

13 Хорев А.И. и др. Предпринимательские инструменты управления бизнес-развитием: монография. Воронеж: Научная книга, 2007.

REFERENCES

1 O gosudarstvenno-chastnom partnerstve, munitsipal'no-chastnom partnerstve v Rossiyskoy Federatsii i vnesenii izmeneniy v otdel'nyye zakonodatel'nyye akty Rossiyskoy Federatsii [On public-private partnership, municipal-private partnership in the Russian Federation and the introduction of amendments to certain legislative acts of the Russian Federation (Federal Law No. 224 FZ of July 13, 2015)]. (in Russian).

2 Linev I.V. Razvitiye gosudarstvenno-chastnogo soobshchestva v sisteme sotsial'noy i proizvodstvennoy infrastruktury Rossiyskoy Federatsii [The development of public-private community in the system of social and industrial infrastructure of the Russian Federation: a monograph]. Moscow, MAX PRESS, 2016. 324 p. (in Russian).

3 Danko K., Suchkova V. Public-Private Partnership in the Municipal Sphere under Crisis Conditions. *Korporativnyj yurist* [Corporate Lawyer]. 2009. no. 5. (in Russian).

4 Bensen E.D., Kidweli D.S., Koch T.W., Rogowski R.J. Systematic variation in yield spreads for tax-exempt general obligation bond. Journal of Financial and Quantitative Analysis. 1980. vol. 16. no. 5.

5 For the God of the People : Using Public-Private Partnerships To Meet America`s Essential Needs. Available at: https://ncppp.org/

6 Loosemore M., Cheung E. Implementing systems thinking to manage risk in public private partnership projects. International Journal of Project Management. 2015. vol. 33. no. 6. pp. 1325–1334.

7 Liu J., Love P.E.D., Smith J., Regan M. Life cycle critical success factors for public-private partnership infrastructure projects. Journal of Management in Engineering. 2014. vol. 31. no. 5. pp. 04014073.

8 Veselovsky M.Y., Gnezdova J.V., Menshikova M.A., Izmailova M.A. et al. Mechanism of Use of Public and Private Partnership in Order to Develop Innovative Economy. Journal of Applied Economic Sciences. 2015. vol. 10. no. 5 (35). pp. 625−634.

9 Chou J.S., Pramudawardhani D. Cross-country comparisons of key drivers, critical success factors and risk allocation for public-private partnership projects. International Journal of Project Management. 2015. vol. 33. no. 5. pp. 1136–1150.

10 Rouhani O.M. et al. Social welfare analysis of investment public–private partnership approaches for transportation projects. Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2016. vol. 88. pp. 86–103.

11 Gorshkov D.O., Kornilov D.A. Reengineering of individual business processes as a means of finding new points of growth in the sales network. *Vestnik NGIEI*. 2017. no. 11 (78). pp. 148–161. (in Russian).

12 Khorev A.I., Ovchinnikova T.I., Kobeleva S.V. The development of competitive innovative industries based on the intensification of labor. *Ekonomika. Innovatsii. Upravleniye kachestvom* [Economy. Innovation. Quality control]. 2014. no. 2 (7). pp. 9–16. (in Russian).

13 Khorev A.I. et al. Predprinimatel'skiye instrumenty upravleniya biznes-razvitiyem [Entrepreneurial tools for managing business development: a monograph]. Voronezh, Nauchnaya kniga, 2007. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Игорь В. Линев к.э.н., профессор, кафедра строительного производства и городского хозяйства, МИТУ-МАСИ, ул. Большая Черемушкинская, 17а, Москва, 117447, Россия, Shunka1956@yandex.ru

Наталия А. Федотова аспирант, кафедра городское строительство и хозяйство, МИТУ-МАСИ, ул. Большая Черемушкинская, 17а, Москва, 117447, Россия, natalini1502@gmail.com

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Игорь В. Линев консультация в ходе исследования

Наталия А. Федотова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 19.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 06.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Igor V. Linev Cand. Sci. (Econ.), professor, building production and municipal economy department, MITU-MASI, Bolshaya Cheremushkinskaya str., 17a, Moscow, 117447, Russia, Shunka1956@yandex.ru

Natalia A. Fedotova graduate student, building production and municipal economy department, MITU-MASI, Bolshaya Cheremushkinskaya str., 17a, Moscow, 117447, Russia, natalini1502@gmail.com

CONTRIBUTION

Igor V. Linev consultation during the study

Natalia A. Fedotova review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.19.2018

ACCEPTED 11.6.2018

Выберите тип статьи.

УДК УДК 332.2

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-484-492

Формирование инновационной экосистемы в регионах РФ (на примере Волгоградской области)

Марина В. Леденёва [1] mledenjova@yandex.ru
Татьяна А. Плаксунова [1] tatjana.plaksunova@vgi.volsu.ru

[1] Волжский филиал Волгоградского государственного университета, ул. 40 лет Победы, 11, г. Волжский, 404133, Россия

Аннотация. Авторами дан обзор разработанности темы формирования инновационной экосистемы, построена логическая модель инновационной инфраструктуры, определены роли основных субъектов. Для создания инновационной экосистемы в Волгоградской области требуется изучение зарубежного опыта и опыта регионов РФ и его адаптация к социально-экономическим условиям Волгоградской области. В России инновационные экосистемы на региональном уровне только формируются. Наиболее успешные наработки построения инновационной инфраструктуры имеют университеты Москвы, Санкт-Петербурга, Новосибирска, Томска, Перми, Самары, Казани, Ростова-на-Дону. Авторами на основе анализа динамики статистических показателей по развитию инновационной активности предпринимательства в Волгоградской области, данных рейтингов, характеризующих инновационные процессы в регионах РФ, а также анализа существующей инфраструктуры поддержки МСП и инновационного предпринимательства обоснована необходимость формирования инновационной экосистемы в Волгоградской области. Авторами выявлены проблемы, снижающие эффективность деятельности объектов инфраструктуры поддержки МСП и инновационного предпринимательства, в числе которых слабое взаимодействие между генераторами знаний и представителями предпринимательской среды, заинтересованными в их коммерциализации; недостаточное развитие социальных связей научных учреждений и инновационных предприятий, недостаточная скоординированность элементов региональных инновационных систем. Имеющаяся нфраструктура не встроена в процесс движения идеи от ее генерации до выхода на рынок и не способствует акселерации инновационныхстартапов. Авторами сделан вывод о необходимости встроить в инновационную инфраструктуру интегратора, осуществляющего функции информирования и координации стейкхолдеров, интенсифицировать поток инновационных проектов с помощью популяризации инновационной деятельности; вести базу данных инновационных проектов, производить их оценку, отслеживать удачные проекты и осуществлять их акселерацию.

Ключевые слова: инновации, Волгоградская область, инновационная экосистема, инновационная инфраструктура, государственное стимулирование инновационной деятельности, инновационное предпринимательство, стартапы, межорганизационные сети, цифровые платформы, информационное пространство.

Creating an innovation ecosystem in the regions of the Russian Federation (on the example of the Volgograd region)

Marina V. Ledeneva [1] mledenjova@yandex.ru
Tatjana A. Plaksunova [1] tatjana.plaksunova@vgi.volsu.ru

[1] Volzsky branch of the federal state autonomous educational institution of higher education "Volgograd State University" Volgograd Region, Volzhsky, ul. 40 let Pobedy d. 11, 404133, Russia

Abstract. The authors gave an overview of the innovation ecosystem formation theme development, built a logical model of the innovation infrastructure, defined the roles of the main actors. To create an innovation ecosystem in the Volgograd region, it is necessary to study the foreign experience and experience of the Russian Federation's regions and adapt it to the socio-economic conditions of the Volgograd region. In Russia, innovation ecosystems at the regional level are only being formed. The most successful developments in innovation infrastructure building are found in the universities of Moscow, St. Petersburg, Novosibirsk, Tomsk, Perm, Samara, Kazan, Rostov-on-Don. The authors based on the analysis of the dynamics of statistical indicators for the development of innovative entrepreneurship in the Volgograd region, data ratings characterizing the innovation processes in the regions of the Russian Federation, as well as analyzing the existing infrastructure for supporting SMEs and innovative entrepreneurship, justified the need to create an innovative ecosystem in the Volgograd region. The authors have identified problems that reduce the efficiency of the infrastructure for supporting SMEs and innovative entrepreneurship, including weak interaction between knowledge generators and representatives of the business environment who are interested in their commercialization; insufficient development of social links between scientific institutions and innovative enterprises, insufficient coordination of the elements of regional innovation systems. The existing infrastructure is not built into the process of moving an idea from its generation to entering the market and does not contribute to the acceleration of innovative start-ups. The authors concluded that it is necessary to integrate an integrator in the innovative infrastructure, which performs the functions of informing and coordinating stakeholders, to intensify the flow of innovative projects by popularizing innovative activities; maintain a database of innovative projects, evaluate them, track successful projects and accelerate them.

Keywords: innovations, Volgograd region, innovation ecosystem, innovation infrastructure, government stimulation of innovation activity, innovative entrepreneurship, start-ups, interorganizational networks, digital platforms, information space.

Для цитирования

Леденёва М.В., Плаксунова Т.А. Формирование инновационной экосистемы в регионах РФ (на примере Волгоградской области) // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 484–492. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-484-492

For citation

Ledeneva M.V., Plaksunova T.A. Creating an innovation ecosystem in the regions of the Russian Federation (on the example of the Volgograd region). *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 484–492. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-484-492

Введение

Рост передовых экономик мира во многом обусловлен развитием наукоемких отраслей, разработкой и внедрением инноваций. Основной проблемой развития инновационной деятельности в России и в мире является проблема недостаточного взаимодействия науки и бизнеса. Для того чтобы инновационные процессы стали интенсивно работать, необходимо создать комфортные условия реализации своих возможностей для всех участников этих процессов: открытость доступа к информации, помощь в поиске и выборе партнеров и вариантов инвестирования, возможность получения консультационных услуг, помощи в привлечении инвесторов, гарантия вознаграждения за участие в инновационном процессе для всех его участников. Реализации этой задачи поможет создание в Волгоградской области инновационной экосистемы.

Инновационная экосистема представляет систему взаимосвязанных субъектов и институтов, образующую межорганизационные сети и выступающую катализатором взаимодействия участников для трансформации, обмена, распространения и эффективного распределения знаний и иных ресурсов, результатом которого является трансформация идеи в рыночный продукт или услугу. Это сложная самоорганизующаяся система, основанная на взаимоотношениях между элементами инновационной инфраструктуры [1, с. 303]. От эффективности инновационной экосистемы, от условий, созданных для инновационного развития на национальном и региональном уровне, зависит уровень инновационной активности предприятий, место и роль страны или региона в системе разделения труда и глобальных цепочках добавленной стоимости, объем и структура производства и уровень жизни населения.

Удачными примерами инновационных экосистем на национальном уровне являются инновационные системы Финляндии, Германии, США, Канады, Японии; региональном – MIT (Массачусетский университет), Силиконовая долина (Стэндфордский университет), Нью Джерси (Университет Принстона и бывшая Bell-лаборатория).

В России, в т.ч. в Волгоградской области, начинают создаваться основные элементы инновационной инфраструктуры. Вместе с тем приходится констатировать слабое взаимодействие между генераторами знаний и представителями предпринимательской среды, заинтересованными в их коммерциализации; недостаточное развитие социальных связей научных учреждений и инновационных предприятий, недостаточную скоординированность элементов региональных инновационных систем.

Для создания инновационной экосистемы в Волгоградской области требуется изучение зарубежного опыта и опыта регионов РФ и его адаптация к социально-экономическим условиям Волгоградской области.

Анализ современного состояния исследований в области формирования инновационных экосистем

Теория инновационных систем начала формироваться в 1980-е-1990-е гг. Термин «экосистема бизнеса» был введен Джеймсом Муром в 1993 г., после этого термин «предпринимательская/инновационная экосистема» начал распространяться в научном и бизнес-сообществах. Методологическим основам национальных инновационных систем посвятили работы такие зарубежные исследователи, как Брески С., Малерба Ф.[2], Лундвал Б.А.[3], Меткалф С.[4], Карлссон Б., Станкевич Р.[5], Фриман К.[6].

Сущность, значение инновационной экосистемы, а также вопросы воспитания культуры инновационной экосистемы исследованы Деборой Дж. Джексон [7].

Значительный вклад в исследование инновационной инфраструктуры внесли Г. Стивенс и Дж. Берли в своей работе «3000 RawIdeas=1 Commercial Success», в которой они проанализировали семь этапов инновационного процесса от концептуальной идеи до коммерческого успеха и пришли к выводу, что из 3000 идей коммерчески реализуются через производство и реализацию инновационного продукта лишь 1,7 и лишь 1 идея приносит коммерческий успех [8].

Практические вопросы создания инновационной экосистемы исследованы А. Маркманом [9], Д. Айзенбергом, основателем и исполнительным директором проекта Babson Entrepreneurship Ecosystem Project - BEEP (Entrepreneurship Ecosystem Lessons) [10], Т. Петерсоном [11].

Генри Ицкович разработал концепцию «тройной спирали», которая заключается в тесном взаимодействии университетов, власти и бизнеса для генерации инноваций. Институты приобретают новые функции, в частности, университеты трансформируются из образовательных и научно-исследовательских учреждений в предпринимательские [12].

Существенный вклад в исследование построения и функционирования инновационных систем внесли такие отечественные ученые, как В.Н. Архангельский, В.В. Иванов, Ю.В. Яковец [13], Н. Бекетов, О.Г.Голиченко [14], В.В. Гузырь [15], А.А.Дынкин [16], А.Ю. Яковлева [17] и др.

Каранатовой Л.Г. и Кулевым А.Ю. проанализированы элементы инновационной экосистемы, построена модель взаимодействия субъектов стратегических инновационных сетей и выявлены этапы формирования инновационных экосистем [18].

Вопросы инновационной инфраструктуры и инновационной экосистемы на уровне региона исследованы П.А. Сухановой [19], В.С. Зубенковой [20], Д.Д. Доржиевой [21], С.Д. Проскурниным [22].

Несмотря на значительный прогресс, достигнутый в вопросах теоретических и практических исследований инновационных экосистем, в данной области остается еще множество нерешенных вопросов, таких, как организация эффективного взаимодействия элементов инновационной инфраструктуры, обеспечение полноты и непрерывности инновационного процесса и др.

Модель инновационной экосистемы

Модель инновационной экосистемы представлены на рис. 1. Стейкхолдеры, т.е. все субъекты, заинтересованные в работе с инновациями, координируются посредством интегратора.

Эффективность инновационной экосистемы зависит от слаженности функционирования и доступности ее институтов, каждый из которых играет определенную роль: генератора знаний, наблюдателя, катализатора, ментора, инвестора, консультанта, техноброкера и др. Ядром инновационной экосистемы являются инноваторы, т.е. те, кто создает, развивает и продвигает инновации. Менторы вносят вклад в инновационную компанию своими советами, опытом и связями, они помогают находить инвесторов и заказчиков продукции стартапа. Зачастую менторы договариваются о получении небольшой доли в инновационном проекте, как правило, от 0,25 до 2–4%. Менторы могут стать и инвесторами проекта. Однако в США, например, ментор не может получать от стартапа ни денег, ни долей [23].

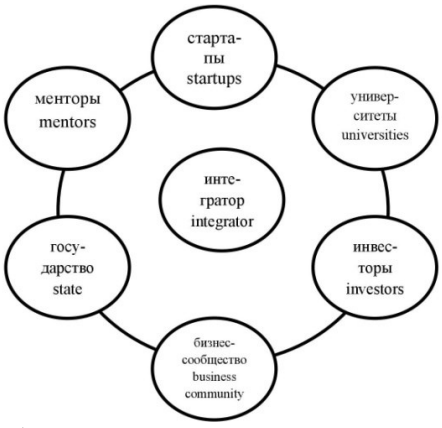


Рисунок 1. Модель инновационной экосистемы

Figure1. Innovation ecosystem model

Таким образом, для запуска инновационной модели роста экономики нужна не только современная инфраструктура (научные центры, технопарки, институты развития и др.), но и горизонтально–сетевая среда коммуникаций между всеми секторами и организациями [24, с. 29].

В России инновационные экосистемы на региональном уровне только формируются. Наиболее успешные наработки построения инновационной инфраструктуры имеют университеты Москвы, Санкт-Петербурга, Новосибирска, Томска, Перми, Самары, Казани, Ростова-на-Дону. Так, например, в Ростове-на-Дону за последние несколько лет была создана инфраструктура для развития инновационных стартапов, включающая в себя техническую базу в ДГТУ, НП «Единый региональный центр инновационного развития Ростовской области» (ЕРЦИР), база которого включает около 700 инновационных проектов, муниципальный коворкинг “Новый Ростов”, “Южный IT-парк”, идет работа по созданию индустриального парка. Обобщение положительного опыта формирования региональных экосистем с учетом особенностей социально-экономического, промышленного и научно-технического развития Волгоградской области поможет создать в регионе инновационную экосистему и вывести его на новый уровень социально-экономического развития.

Развитие инновационного предпринимательства в Волгоградской области

В рейтинге инновационных регионов РФ, разработанном ассоциацией инновационных регионов России, Волгоградская область в 2017 г. вошла в группу «средне-слабых инноваторов» (51-е место в рейтинге) [25].По значению российского регионального инновационного индекса (РРИИ), складывающегося из субиндексов «Социально-экономические условия инновационной деятельности», «Научно-технический потенциал», «Инновационная деятельность» и «Качество инновационной политики», в 2015 г. Волгоградская область находится на 39-м месте, входя в третью группу регионов, распределенных на основе кластерного анализа по четырем группам (в порядке убывания РРИИ). При этом ранг Волгоградской области по субиндексу «Социально-экономические условия инновационной деятельности» равняется 54, «Научно-технический потенциал» – 51, «Инновационная деятельность» – 54 и «Качество инновационной политики» – 25. Следует отметить, что по сравнению с 2014 г. наблюдалось падение Волгоградской области в сводном рейтинге по величине РРИИ на 7 позиций и ее переход из второй (в которой средние значения РРИИ превышают среднюю

величину по стране) в третью группу (в которой средние значения ИСЭУ уступают средней величине по стране), что вызвано отрицательной динамикой сразу трех подиндексов: «Научно-технический потенциал», «Инновационная деятельность» и «Качество инновационной политики» [26, с. 19], [27, с. 26-27].

В Волгоградской области, как и в целом в ЮФО, инновационное предпринимательство развито слабее, чем по России в целом (табл. 1). Подавляющая часть организаций, осуществляющих научные исследования и разработки, в ЮФО представлена госучреждениями, прежде всего, университетами и их филиалами. За 2010–16 гг. не произошло существенного увеличения удельного веса инновационных товаров и услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг. Это означает, что инновации, к сожалению, не стали драйвером развития экономики ЮФО.

Таблица 1.

Развитие инновационного предпринимательства в Волгоградской области, 2010–2016 гг. [28]

Table 1.

Development of innovative entrepreneurship in the Volgograd region, 2010–2016 [28]

Показатели | indicators	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг* | The proportion of innovative goods, works, services in the total volume of goods shipped, work performed, services*							
РФ | RF	4,8	6,3	8,0	9,2	8,7	8,4	8,5
ЮФО | SFD	6,5	3,7	3,0	3,4	4,8	5,9	8,4
Волгоградская область | Volgograd region	13,5	5,2	0,9	1,1	2,1	2,5	3,0
Инновационная активность организаций (удельный вес организаций, осуществлявших технологические, организационные, маркетинговые инновации в отчетном году, в общем числе обследованных организаций)*, % | Innovative activity of organizations (the proportion of organizations that carried out technological, organizational, marketing innovations in the reporting year, in the total number of organizations surveyed)							
РФ | RF	9,5	10,4	10,3	10,1	9,9	9,3	8,4
ЮФО | SFD	7,5	6,5	7,4	7,2	7,7	7,6	7,1
Волгоградская область | Volgograd region	8,4	7,9	7,1	8,1	6,3	6,3	4,9
Удельный вес организаций, осуществлявших технологические инновации, в общем числе обследованных организаций*, % | The share of organizations implementing technological innovations in the total number of surveyed organizations							
РФ | RF	7,9	8,9	9,1	8,9	8,8	8,3	7,3
ЮФО | SFD	6,2	5,3	6,3	6,2	6,6	6,7	6,2
Волгоградская область | Volgograd region	6,9	6,3	6,0	7,3	5,5	5,9	4,6

Доля инновационных товаров и услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг в Волгоградской области в несколько раз ниже средней по России и значительно ниже среднего по ЮФО показателя. Кроме того, данный показатель отличается нестабильностью. Удельный вес организаций, осуществлявших инновации, в Волгоградской области заметно ниже соответствующего показателя по России и по ЮФО. Инновационная деятельность сосредоточена, главным образом, на крупных предприятиях региона. На малых и средних предприятиях она развита значительно слабее (рис. 2). Тем не менее, удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ, услуг на малых предприятиях по данным выборочного обследования выше, чем на средних, причем данный показатель также нестабилен (рис. 3).

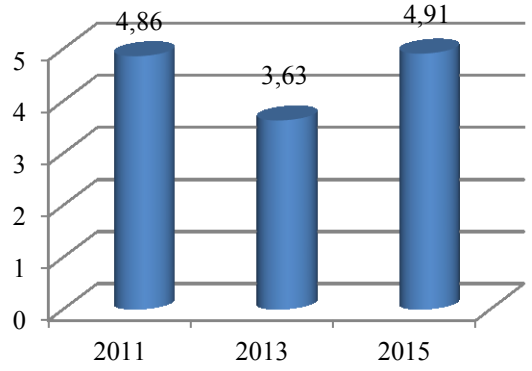


Рисунок 2. Удельный вес малых предприятий, осуществлявших технологические инновации, в общем числе обследованных малых предприятий Волгоградской области, % [29, с. 5]

Figure 2. The share of small enterprises engaged in technological innovations in the total number of surveyed small enterprises in the Volgograd region,% [29, p. 5]

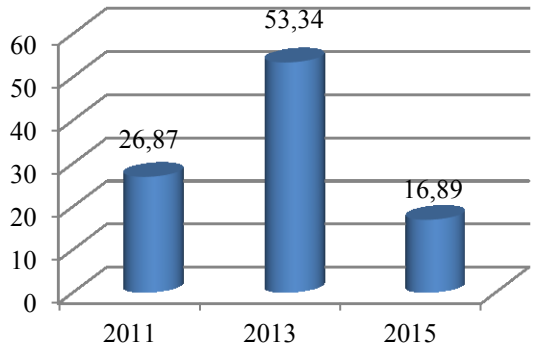


Рисунок 3. Удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ, услуг малыми предприятиями Волгоградской области, % [29, с. 9]

Figure 3. The share of innovative goods, works, services in the total volume of shipped goods of own production, work performed, services by small enterprises of the Volgograd region,% [29, p. 9]

Инновационная инфраструктура Волгоградской области

Развитие инновационной экономики является одним из приоритетов для региональных властей.

Так, согласно Стратегии Волгоградской области до 2025 г. основной целью инновационной политики Волгоградской области является «создание экономических, правовых и организационных условий для инновационной деятельности» [30]. При этом отмечено, что отсутствие инновационной инфраструктуры является фактором, сдерживающим реализацию стратегических преимуществ основных видов промышленной деятельности для региона.

Одним из приоритетных направлений Стратегии Волгограда до 2030 г. является «развитие инновационной экономики: только создав благоприятные условия для бизнеса (управление, инфраструктура, инвестиционный и предпринимательский климат), можно ожидать расширения потенциала экономики Волгограда» [31].

Как следует из ежегодного отчета о деятельности комитета экономической политики и развития Волгоградской области перед жителями Волгоградской области (итоги за 2017 г., основные задачи на 2018 г.), «одной из важнейших задач на ближайший период станет совершенствование в регионе инновационной инфраструктуры, являющейся одним из важнейших условий успешного развития инновационной экономики» [32].

В последние годы в Волгоградской области была проведена работа по формированию инфраструктуры поддержки малого предпринимательства, включая инновационные стартапы. В настоящее время в области действует Волгоградский областной бизнес-инкубатор, Региональный центр инжиниринга, инжиниринговый центр при ВолгГТУ, Региональный микрофинансовый центр, Региональный гарантийный фонд. В 2020 г. планируется открытие центра прототипирования. Проводится работа по вовлечению детей и молодежи в инновационную деятельность, что поможет воспитанию поколения инноваторов: в г. Волжском в 2017 г. были созданы бесплатные для посещения кружки по 3D-моделированию и робототехнике при Дворце творчества детей и молодежи; в Волгограде в 2017 г. были созданы два центра молодежного инновационного творчества; в ВолгГТУ будет создан детский технопарк «Кванториум».

Волгоградская область вошла в десятку экспериментальных площадок, где реализуется образовательный проект АО «Российский экспортный центр» (АО «РЭЦ»). В 2016 г. в области был создан Центр координации поддержки экспорта для оказания информационно-аналитической, консультационной и организационной поддержки внешнеэкономической деятельности субъектам МСП, содействия привлечению инвестиций и выходу экспортно-ориентированных субъектов МСП на международные рынки. Центром координации поддержки экспортно-ориентированных субъектов МСП Волгоградской области оказаны информационно-аналитическая, консультационная и организационная поддержка внешнеэкономической деятельности субъектам МСП и содействие привлечению инвестиций и выходу субъектов МСП на международные рынки. На курсах предприниматели были обучены построению деловых коммуникаций, оформлению сделок с иностранными фирмами, таможенным правилам организации поставок, налоговым аспектам организации деятельности, особенностям онлайн-торговли для экспортеров. По итогам обучения в рамках образовательного проекта АО «РЭЦ» в Волгоградской области удостоверения получил 131 человек из 40 компаний. Помимо обучения, Центр координации поддержки экспорта помогает субъектам МСП подготовить документы для открытия компаний с иностранным капиталом. В 2017 г. АО «РЭЦ» выступил организатором стендов предприятий Волгоградской области на крупнейших российских и международных выставках, а также международных бизнес-миссий в Волгограде и за рубежом.

С 2017 г. в области действует информационный ресурс «Бизнес-навигатор». С помощью этого ресурса потенциальный предприниматель может в режиме «одного окна» получить

доступ к информации о существующих рыночных нишах для открытия бизнеса, всех видах поддержки субъектов МСП и о специализированных финансово-кредитных продуктах. Портал способствует составлению примерного бизнес-плана, рассчитывает спрос на товары и услуги будущего бизнеса и дает информацию о конкурентной среде.

В Волгоградской области действует Некоммерческое партнерство «Волгоградский Центр Трансфера Технологий» (НП ВЦТТ). Данная организация является представительством Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по Волгоградской области и оператором проекта «Стимулирование молодежного инновационного предпринимательства в Российской Федерации» по Волгоградской области.

Программы Фонда содействия малых форм предприятий в научно-технической сфере продуманы как определенные ступени развития: сначала программа «Умник» для молодых исследователей, затем «Старт» для разработки прототипа нового продукта, далее - программа «Коммерциализация» на расширение производства. Итоги программ «Старт», «Интернационализация» (конкурс «Экспорт»), «Развитие» и «Коммерциализация» по Волгоградской области представлены в табл. 2.

К сожалению, как отмечает директор ЕРЦИЦ РО М. Изотов, отсутствует динамика проектов, «кто-то что-то получил и на этом остановился» [33].Директор по региональному развитию НП “Международный центр инжиниринга и инноваций”, эксперт по инжинирингу Минэкономразвития России П. Деревянко и директор ЕРЦИЦ РО М. Изотов отмечают небольшое количество проектов, несмотря на тенденцию к росту их количества [33].

Таким образом, несмотря на то что в Волгоградской области было сформировано значительное количество объектов инфраструктуры поддержки малого бизнеса, существует проблема недостаточно эффективного взаимодействия элементов инновационной инфраструктуры. Требуется дальнейшее развитие и совершенствование инновационной инфраструктуры региона, формирование единого информационного пространства и координация участников инновационного пространства. Имеющиеся инструменты и институты должны быть дополнены инструментами и институтами, направленными на коммерциализацию результатов НИР предприятиями региона.

Таблица 2.

Итоги программ «Старт», «Экспорт», «Развитие» и «Коммерциализация» по Волгоградской области, тыс. р./количество предприятий [34, с. 101–102]

Table 2.

Results of the programs «Start», «Export», «Development» and «Commercialization» in the Volgograd region, thousand rubles / number of enterprises [34, p. 101–102]

Программа | Program	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
СТАРТ-1 | START-1	8000/8	10660/11	8620/9	10420/11	7000/7	5000/5	22000/11
СТАРТ-2| START-2	6000/3	4000/2	2000/1	6000/3	2000/1	9500/5	3000/1
СТАРТ-3| START-3	2250/1	3000/1	6000/2	-	3000/1	3000/1	3000/1
Конкурс «Экспорт» программы «Интернационализация» | Competition «Export» program «Internationalization»	-	-	-	-	-	10300/1	0
«Развитие»| «Development»	4000/1	-	8100/1	-	-	13000/1	0
«Коммерциализация»| «Commercialization»	-	-	-	-	16060/6	14640/2	0
Итого|Total	20250/13	17660/14	24720/13	16420/14	28060/15	55440/15	28000/13

Заключение

В Волгоградской области в последние годы была в целом сформирована инфраструктура поддержки МСП. Однако несмотря на то, что в Волгоградской области работает целая система поддержки инновационных субъектов малого и среднего предпринимательства, деятельность многих учреждений, заявленных как объекты инновационной инфраструктуры, напрямую не имеет целью поддержку именно инновационных предприятий. Так, например, на территории бизнес-инкубатора находится 29 предприятий, однако деятельность большинства из них не связана с инновациями. Региональный гарантийный фонд оказывает поддержку всем предприятиям, особых льготных условий для инновационных компаний не предусмотрено. Экспортная поддержка высокотехнологичных компаний только недавно получила должное внимание и ресурсное обеспечение.

Вместе с тем приходится констатировать слабое взаимодействие между генераторами знаний и представителями предпринимательской среды, заинтересованными в их коммерциализации; недостаточное развитие социальных связей научных учреждений и инновационных предприятий, недостаточную скоординированность элементов региональных инновационных систем.

В качестве интегратора в модели инновационной экосистемы Волгоградской области может выступить, например, бизнес-инкубатор или Волгоградский государственный технический университет. Интегратор может выполнять функцию информирования стейкхолдеров о текущих мероприятиях и выступать площадкой для их осуществления.

Имеющаяся инфраструктура поддержки МСП не встроена в процесс «генерация знаний» - «их «подхватывание» (начало реализации идеи)» - «апробация продукта внутри региона» – «выход на рынки за пределами региона». Нужно проходить процессы акселерации инновационных стартапов при помощи арсенала инструментов государственной поддержки МСП, при этом на уровне субъектов РФ необходимо вести базу инновационных стартапов, отслеживать их состояние и развитие, оказывать необходимую помощь на различных этапах их жизненного цикла.

Экосистема для бизнес-инноваций должна работать как на этапе выращивания и профессиональной ориентации предпринимателей (через инфраструктуру поддержки малого бизнеса), так и на этапе сопровождения стартапов после вывода продуктов на рынок (акселераторы, менторы, наставники и др.).

Поскольку вывод нового продукта на новый рынок обходится многократно дороже, чем развитие существующего продукта на существующем рынке, а вероятность успеха – не более 5%, то точечные меры поддержки не позволят развивать инновации в заметных масштабах. Необходимо интенсифицировать поток инновационных проектов с помощью популяризации инновационной деятельности, например, путем публикации в СМИ историй успеха инновационных стартапов, вышедших из региона и завоевавших мир, вовлечения в инновационную деятельность детей и молодежи; вести базу данных инновационных проектов, производить их оценку, отслеживать удачные проекты и осуществлять их акселерацию, т.е. ограниченный во времени процесс ускоренного роста стартапа.

Таким образом, создание в Волгоградской области инновационной инфраструктуры будет способствовать активизации в регионе инновационной деятельности, усилению ее инвестиционной и социальной привлекательности, созданию высокопроизводительных рабочих мест, приросту ВРП и уровня заработной платы в регионе.

ЛИТЕРАТУРА

1 Рыжкова О.В., Бородкина В.В. Успешность региональных инновационных экосистем и их интеграция в национальную инновационную экосистему // Промышленная политика в цифровой экономике: проблемы и перспективы: труды научно-практической конференции с международным участием; под ред. А.В. Бабкина. Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. С. 302–310.

2 Breschi S., Malerba F. Clusters, networks and innovation: research results and new directions. Oxford: Oxford University press, 2005. P. 1–26.

3 Lundvall B.-A. National Innovation Systems: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning. London: Pinter Publishers, 1992. 342 p.

4 Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change; ed. P. Stoneman. Oxford–Cambridge: Wiley-Blackwell, 1995. 600 p.

5 Carlsson B., Stankiewicz R. On the Nature, Function, and Composition of Technological systems // Journal of Evolutionary Economics. 1991. № 1. P. 93–118.

6 Freeman J., Hannan M.T. Niche Width and the dynamics of Organizational Populations // American Journal of Sociology. 1983. V. 88. № 6. P. 1116–1145.

7 Jackson D.J. What is an Innovation Ecosystem? // Engeneering Research Centers: Linking Discovery to Innovation. 2011. URL: http://erc-assoc.org/content/what-innovation-ecosystem

8 Stevens G., Burley J. 3,000 raw ideas = 1 commercial success // Research Technology Management, 1997. V. 40. № 3. p. 16–27.

9 Markman A. How to Create an Innovation Ecosystem? // Harvard Business Review. 2012.URL: https://hbr.org/2012/12/how-to-create-an-innovation-ec

10 Isenberg D. Entrepreneurship Ecosystem Lessons. URL: http://entrepreneurial-revolution.com/lessons/

11 Peterson T.W. Creating an Innovation Ecosystem. URL: https://www.nsf.gov/od/oia/programs/epscor/natcon/presentations/PetersonPresentationEPSCoR.pdf

12 Ицкович Г. Модель тройной спирали // Инновации. 2011. № 4 (150). С. 5–10.

13 Архангельский В.Н., Дагаев А.А., Иванов В.В., Иванов О.В. и др. Хозяйственные системы инновационного типа: теория, методология, практика; под общ. ред. А.Н. Фоломьёва. М.: Экономика, 2011. 397 с.

14 Голиченко О.Г. Национальная инновационная система России: состояние и пути развития. М.: Наука, 2006. 396 с.

15 Гузырь В.В. Национальная инновационная система как основа экономики качества жизни. Томск, 2007.

16 Дынкин А.А. Национальная инновационная система России в международном контексте // Безопасность Евразии. 2005. № 2. С. 144–153.

17 Яковлева А.Ю. Факторы и модели формирования и развития инновационных экосистем. М., 2012.

18 Каранатова Л.Г., Кулев А.Ю. Современные подходы к формированию инновационных экосистем в условиях становления экономики знаний // Управленческое консультирование. 2015. № 12. С. 39–46.

19 Суханова П.А. Инновационная инфраструктура в региональной инновационной экосистеме и ее элементы // Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий. 2012. № 3. С. 49–52.

20 Зубенкова В.С. Инновационная экосистема регионального уровня // Беларусь в современном мире: материалы VIII Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 5 мая 2015 г. Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2015. С. 273–276.

21 Доржиева Д.Д. Инновационная инфраструктура как фактор социально-экономического развития региона. Улан-Удэ, 2009. 183 с.

22 Проскурнин С.Д. Создание самоорганизуемой инновационной экосистемы в зонах особого территориального развития // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. 2017. № 4 (52). URL: https://eee-region.ru/article/5206/

23 Менторы для инноваций. URL: http://www.rvc.ru/press-service/media-review/rvk/39851/

24 Смородинская Н.В. Сетевые инновационные экосистемы и их роль в динамизации экономического роста // Инновации. 2014. № 7 (189). С. 27–33.

25 Ассоциация инновационных регионов России. Рейтинг инновационных регионов России URL: http://www.i-regions.org/reiting/rejting-innovatsionnogo-razvitiya

26 Абдрахманова Г.И., Гохберг Л.М., Дитковский К.А., Исланкина Е.А. и др. Рейтинг инновационного развития субъектов Российской Федерации. Выпуск 4; под ред. Л.М. Гохберга. М.: НИУ ВШЭ, 2016. 248 с.

27 Абдрахманова Г.И., Бахтин П.Д., Гохберг Л.М. и др. Рейтинг инновационного развития субъектов Российской Федерации. Выпуск 5; под ред. Л.М. Гохберга. М.: НИУ ВШЭ, 2017. 260 с.

28 Наука и инновации. Росстат. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/science_and_innovations/science/#

29 Индикаторы инновационной деятельности малого предпринимательства Волгоградской области в 2015 году: статистический обзор. Волгоград: Волгоградстат, 2016. 15 с.

30 Закон Волгоградской области от 21 ноября 2008 г. № 1778-ОД «О Стратегии социально-экономического развития Волгоградской области до 2025 года (с изменениями на 16 февраля 2018 г.)». URL: http://docs.cntd.ru/document/819076044

31 Стратегия Волгограда 2030. URL: http://www.volgadmin.ru/d/strategy2030/index

32 Ежегодный отчет о деятельности комитета экономики Волгоградской области перед жителями Волгоградской области. URL: http://economics.volgograd.ru/docs/orv/Отчет комитета экономической политики Волгоградской области перед жителями за 2017 год.pdf

33 Кисин С., Козлов В., Ракуль Е. Кто создаст воронку для инноваций? // Эксперт-Юг. 2017. URL: http://www.expertsouth.ru/specproekty/innovacionnyi-draiver-yuga-rossii/kto-sozdast-voronku-dlja-innovacii.html

34 Леденёва М.В., Парфенова М.В. Инновационный ваучер как инструмент развития инновационного предпринимательства в Волгоградской области. Волгоград: ИП Головченко Е.А., 2017. 244 с.

REFERENCES

1 Ryzhkova O.V., Borodkina V.V. The success of the use of innovation ecosystems and their integration into the national innovation ecosystem. Promyshlennaya politika v tsifrovoy ekonomike: problemy i perspektivy [Industrial policy in the digital economy: problems and prospects: labor scientific and practical conferences with the participation of RS; by ed. A.V. Babkina]. St. Petersburg, Polytechnic Publishing House. Univ., 2017. pp. 302–310. (in Russian).

2 Breschi S., Malerba F. Clusters, networks and innovation: research results and new directions. Oxford, Oxford University press, 2005. pp. 1–26.

3 Lundvall B.-A. National Innovation Systems: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning. London, Pinter Publishers, 1992. 342 p.

4 Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change; ed. P. Stoneman. Oxford–Cambridge: Wiley-Blackwell, 1995. 600 p.

5 Carlsson B., Stankiewicz R. On the Nature, Function, and Composition of Technological systems. Journal of Evolutionary Economics. 1991. no. 1. pp. 93–118.

6 Freeman J., Hannan M.T. Niche Width and the dynamics of Organizational Populations. American Journal of Sociology. 1983. vol. 88. no. 6. pp. 1116–1145.

7 Jackson D.J. What is an Innovation Ecosystem? Engeneering Research Centers: Linking Discovery to Innovation. 2011. Available at: http://erc-assoc.org/content/what-innovation-ecosystem

8 Stevens G., Burley J. 3,000 raw ideas = 1 commercial success. Research Technology Management, 1997. vol. 40. no. 3. pp. 16–27.

9 Markman A. How to Create an Innovation Ecosystem? Harvard Business Review. 2012. Available at: https://hbr.org/2012/12/how-to-create-an-innovation-ec

10 Isenberg D. Entrepreneurship Ecosystem Lessons. Available at: http://entrepreneurial-revolution.com/lessons/

11 Peterson T.W. Creating an Innovation Ecosystem. Available at: https://www.nsf.gov/od/oia/programs/epscor/natcon/presentations/PetersonPresentationEPSCoR.pdf

12 Itskovich G. Triple Helix Model. *Innovatsii* [Innovations]. 2011. no. 4 (150). pp. 5–10. (in Russian).

13 Arkhangelsky V.N., Dagayev A.A., Ivanov V.V., Ivanov O.V. et al. Khozyaystvennyye sistemy innovatsionnogo tipa: teoriya. metodologiya. praktika [Economic systems of innovative type: theory, methodology, practice]. Moscow, Economics, 2011. 397 p. (in Russian).

14 Golichenko O.G. Natsionalnaya innovatsionnaya sistema Rossii: sostoyaniye i puti razvitiya. [The national innovation system of Russia: state and ways of development]. Moscow, Nauka, 2006. 396 p. (in Russian).

15 Guzyr V.V. Natsionalnaya innovatsionnaya sistema kak osnova ekonomiki kachestva zhizni [The national innovation system as the basis of the economy of quality of life]. Tomsk, 2007. (in Russian).

16 Dynkin A.A. The national innovation system of Russia in an international context. *Bezopasnost Evrazii* [Security of Eurasia]. 2005. no. 2. pp. 144–153. (in Russian).

17 Yakovleva A.Yu. Faktory i modeli formirovaniya i razvitiya innovatsionnykh ekosistem [Factors and models of the formation and development of innovative ecosystems]. Moscow, 2012. (in Russian).

18 Karanatova L.G., Kulev A.Yu. Modern approaches to the formation of innovative ecosystems in the conditions of the knowledge economy development. *Upravlencheskoye konsultirovaniye* [Management consulting]. 2015. no. 12. pp. 39–46. (in Russian).

19 Sukhanova P.A. Innovation infrastructure in the regional innovation ecosystem and its elements. *Vestnik Sibirskogo instituta biznesa i informatsionnykh tekhnologiy* [Bulletin of the Siberian Institute of Business and Information Technologies]. 2012. no. 3. pp. 49–52. (in Russian).

20 Zubenkova V.S. Innovative ecosystem of the regional level. Belarus' v sovremennom mire [Belarus in the modern world: materials of the VIII Intern. scientific conf. students, graduate students and young scientists, Gomel, May 5, 2015]. Gomel, GSTU them P.O. Sukhogo, 2015. pp. 273–276. (in Russian).

21 Dorzhieva D.D. Innovatsionnaya infrastruktura kak faktor sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya regiona [Innovation infrastructure as a factor in the socio-economic development of the region]. Ulan-Ude, 2009. 183 p. (in Russian).

22 Proskurnin S.D. Creating a self-organized innovation ecosystem in areas of special territorial development. *Regionalnaya ekonomika i upravleniye: elektronnyy nauchnyy zhurnal* [Regional Economics and Management: an electronic scientific journal]. 2017. no. 4 (52). Available at: https: //eee-region.ru/article/5206/ (in Russian).

23 Mentory dlya innovatsiy. [Mentors for innovation]. Available at: http://www.rvc.ru/press-service/media-review/rvk/39851/(in Russian).

24 Smorodinskaya N.V. Network innovation ecosystems and their role in the dynamization of economic growth. *Innovatsii* [Innovations]. 2014. no. 7 (189). pp. 27–33. (in Russian).

25 Assotsiatsiya innovatsionnykh regionov Rossii. Reyting innovatsionnykh regionov Rossii [Association of Innovative Regions of Russia. Rating of innovative regions of Russia]. Available at: http://www.i-regions.org/reiting/rejting-innovatsionnogo-razvitiya (in Russian).

26 Abdrakhmanova G.I., Gokhberg L.M., Ditkovsky K.A., Islankina E.A. et al. Reyting innovatsionnogo razvitiya sub"yektov Rossiyskoy Federatsii [Innovation Development Rating of the Subjects of the Russian Federation. Issue 4]. Moscow, HSE, 2016. 248 p. (in Russian).

27 Abdrakhmanova G.I., Bakhtin P.D., Gokhberg L.M. et al. Reyting innovatsionnogo razvitiya sub"yektov Rossiyskoy Federatsii. [Innovation Development Rating of the Subjects of the Russian Federation. Issue 5]. Moscow, HSE, 2017. 260 p. (in Russian).

28 Nauka i innovatsii. Rosstat [Science and Innovation. Rosstat]. Available at: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/science_and_innovations/science/# (in Russian).

29 Indikatory innovatsionnoy deyatel'nosti malogo predprinimatel'stva Volgogradskoy oblasti v 2015 godu: statisticheskiy obzor [Indicators of the Innovation Activity of Small Business in the Volgograd Region in 2015: Statistical Review]. Volgograd, Volgogradstat, 2016. 15 p. (in Russian).

30 Zakon Volgogradskoy oblasti ot 21 noyabrya 2008 g. № 1778-OD "O Strategii sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Volgogradskoy oblasti do 2025 goda (s izmeneniyami na 16 fevralya 2018 g.)" [Law of the Volgograd Region of November 21, 2008 No. 1778-OD "On the Strategy of Socio-Economic Development of the Volgograd Region until 2025 (as amended on February 16, 2018)"]. Available at: http://docs.cntd.ru/document/819076044 (in Russian).

31 Strategiya Volgograda 2030 [Volgograd 2030 strategy]. Available at: http://www.volgadmin.ru/d/strategy2030/index (in Russian).

32 Ezhegodnyy otchet o deyatelnosti komiteta ekonomiki Volgogradskoy oblasti pered zhitelyami Volgogradskoy oblasti [Annual report on the activities of the Economic Committee of the Volgograd region to the residents of the Volgograd region]. Available at: http://economics.volgograd.ru/docs/orv/Отчет комитета экономической политики Волгоградской области перед жителями за 2017 год.pdf (in Russian).

33 Kisin S., Kozlov V., Rakul E. Who Will Create a Funnel for Innovations? *Ekspert-Yug* [Expert-South]. Available at: http://www.expertsouth.ru/specproekty/innovacionnyi-draiver-yuga-rossii/kto-sozdast-voronku-dlja-innovacii.html (in Russian).

34 Ledenova M.V., Parfenova M.V. Innovatsionnyy vaucher kak instrument razvitiya innovatsionnogo predprinimatel'stva v Volgogradskoy oblasti [Innovation voucher as a tool for the development of innovative entrepreneurship in the Volgograd region]. Volgograd, IE Golovchenko E.A., 2017. 244 p. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Марина В. Леденёва д.э.н., проф., кафедра экономики и управления, Волжский филиал Волгоградского государственного университета, ул. 40 Лет Победы, 11 г. Волжский, 404133, Россия,mledenjova@yandex.ru

Татьяна А. Плаксунова к.э.н., доцент, кафедра экономики и управления, Волжский филиал Волгоградского государственного университета, ул. 40 Лет Победы, 11 г. Волжский, 404133, Россия , tatjana.plaksunova@vgi.volsu.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Татьяна А. Плаксунова, Марина В. Леденёва написали рукопись, корректировали её до подачи в редакцию и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 01.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 16.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Marina V. Ledeneva Dr. Sci. (Econ.), professor, economic and management department, Volzhsky branch of Volgograd State University, 40 let Pobedy str., 11, Volzhsky, 404133, Russia, mledenjova@yandex.ru

Tatjana A. Plaksunova Cand. Sci. (Econ.), associate professor , economic and management department, Volzhsky branch of Volgograd State University , 40 let Pobedy str., 11, Volzhsky, 404133, Russia, tatjana.plaksunova@vgi.volsu.ru

CONTRIBUTION

Tatjana A. Plaksunova, Marina V. Ledeneva wrote the manuscript, corrected it before submission to the editors and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 1.9.2018

ACCEPTED 11.16.2018

Оригинальная статья/Original article

УДК 338.2

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-493-498

Использование кластерного подхода в развитии промышленности региона

Юрий А. Саликов [1] saural@rambler.ru
Светлана В. Вандышева [2] svvandysheva@mail.ru
Лилия В. Смарчкова [3] lilija-sma@rambler.ru
Елена А. Чудакова [3] chudakova_lena@mail.ru

[1] Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
[2] Центр кластерного развития промышленности Воронежской области, Площадь Ленина, 6а, г. Воронеж, 394018, Россия
[3] РЭУ им. Г.В. Плеханова Воронежский филиал, ул. Карла Маркса, 67а, г. Воронеж, 394030, Россия

Аннотация. Создание промышленных кластеров является одним из инструментов развития промышленности, как регионов, так и России в целом. Промышленные кластеры создают условия для опережающего роста российской промышленности, в силу чего процесс формирования региональных и отраслевых промышленных кластеров представляет собой в настоящее время важнейший этап создания инновационной экономики. Развиваться экономике региона позволит модернизация промышленного комплекса, создание новых промышленных региональных кластеров и кластеров на межрегиональной основе. Это обеспечит рост доли высокотехнологичной промышленной продукции предприятий Воронежской области в общей структуре производства на национальном рынке. Эффективность кластерного подхода заключается в том, что он позволяет сформировать комплексный взгляд на государственную политику развития региона за счет поддержки не просто групп предприятий и отдельных отраслей, а эффективных долгосрочных взаимосвязей между ними. В связи, с этим в данной работе рассмотрен опыт применения кластерного подхода к развитию промышленности региона (на примере Воронежской области).

Ключевые слова: промышленный кластер, участники кластера, кластерный подход, промышленость региона

The use of cluster approach in the development of industry in the region

Yuri A. Salikov [1] saural@rambler.ru
Svetlana V.Vandysheva [2] svvandysheva@mail.ru
Liliya V. Smarchkova [3] lilija-sma@rambler.ru
Elena A. Chudakova [3] chudakova_lena@mail.ru

[1] Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
[2] Center for cluster industrial development of the Voronezh region, Lenin Square, 6a, Voronezh, 394018, Russia
[3] Plekhanov Russian University of Economics, Karl Marx street, 67a, Voronezh, 394030, Russia

Summary. The creation and development of industrial clusters is one of the tools for the development of industry, both regions and Russia as a whole. Industrial clusters create conditions for the advanced development of Russian industry. The formation of regional industry clusters is the most important stage in the creation of an innovative economy. The modernization of the industrial complex, the creation of new industrial regional clusters and clusters on an interregional basis will allow the region's economy to develop. This will ensure the growth of the share of high-tech industrial products of the Voronezh region in the overall structure of production in the national market. The effectiveness of the cluster approach is that it allows you to form a comprehensive view of the state policy of development of the region by supporting not just groups of enterprises and individual industries, and effective long-term relationships between them. In this regard, this paper describes the experience of the cluster approach to the development of industry in the region (on the example of the Voronezh region).

Keywords: industrial cluster, cluster members, cluster approach, industry of the region

Введение

В условиях нестабильной международной обстановки, нарастания социально-экономических проблем усложняется ситуация и в индустриальном секторе экономики регионов. В соответствии с проектами «Стратегий социально-экономического развития субъектов РФ на период до 2035 года» основным направлением экономического развития регионов является формирование высокотехнологичного промышленного комплекса. Это планируется достичь и за счет активного развития процессов вертикальной интеграции крупных российских производителей с субъектами малого и среднего предпринимательства.

Для цитирования
Саликов Ю.А., Вандышева С.В., Смарчкова Л.В., Чудакова Е.А. Использование кластерного подхода в развитии промышленности региона // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 493–498. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-493-498

For citation
Salikov Yu.A., Vandysheva S.V., Smarchkova L.V., Chudakova E.A. The use of cluster approach in the development of industry in the region . *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 493–498. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-493-498

Данное направление отражено в ФЗ РФ № 488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации», в соответствии с которым переход экономики государства от экспортно-сырьевого к инновационному типу развития реализуется на основе формирования высокотехнологичной, конкурентоспособной промышленности [1]. Кроме того, закон вводит такое понятие, как промышленный кластер, и говорит о необходимости развития и государственной поддержки подобных структур [3].

Результаты и обсуждение

Анализируя особенности формирования и развития Воронежской области, можно отметить, что регион является крупным индустриальным центром Центрального федерального округа (ЦФО) с диверсифицированной структурой производства электроэнергии, продовольственных товаров, химической продукции, резиновых и пластмассовых изделий, транспортных средств, машин и оборудования, готовых металлических изделий, прочей неметаллической минеральной продукции и др. Важной составляющей индустриального сектора Воронежской области является наличие промышленных предприятий федерального значения, функционирование которых поддерживается федеральными целевыми программами (в том числе системой государственного оборонного заказа). В реестре предприятий оборонно-промышленного комплекса страны 28 воронежских предприятий ракетно-космической, авиационной и радиоэлектронной отраслей (13 из которых стратегические предприятия).

Объем отгруженной промышленной продукции по региону в 2017 г. составил 491,5 млрд р., это седьмое место в ЦФО (доля 3,13%) и тридцать четвёртое в России (доля 0,86%).

В течение последних трех лет динамика развития промышленного производства Воронежской области превосходит средние значения названного показателя по России и ЦФО (рисунок 1).

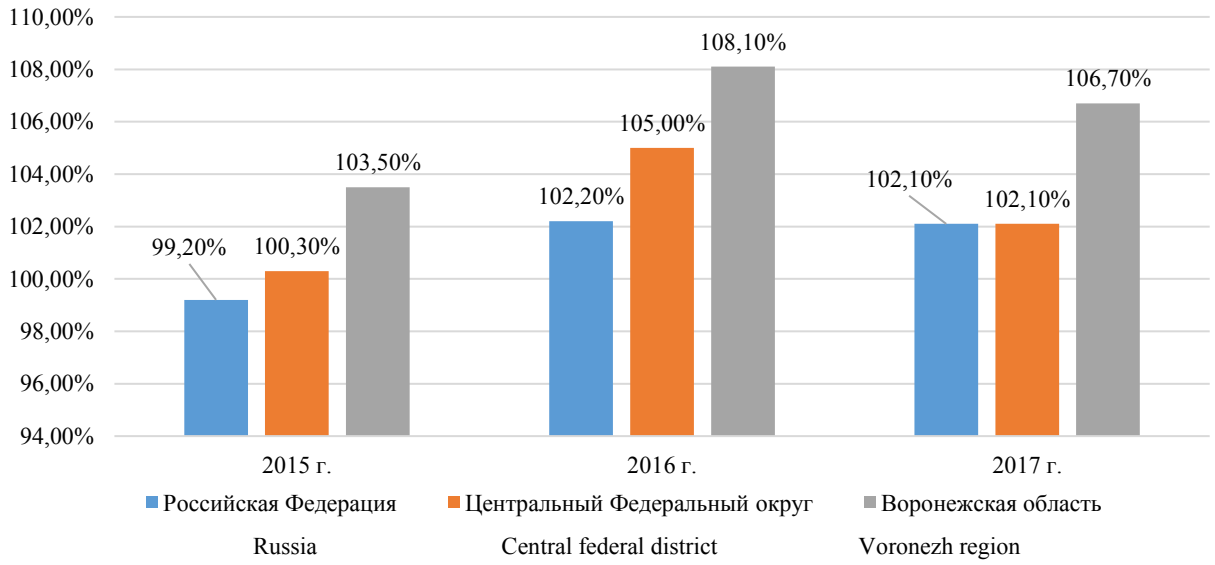


Рисунок 1. Динамика индексов промышленного производства в 2015–2017 гг. (в% к предыдущему году)

Figure 1. Dynamics of industrial production indices in 2015–2017 (in % to the previous year)

Индустриальный сектор экономики региона имеет высокий потенциал импортозамещения, формируемый и используемый промышленными кластерами. Промышленный кластер – совокупность субъектов деятельности в сфере промышленности, связанных отношениями в указанной сфере вследствие территориальной близости и функциональной зависимости и размещенных на территории одного или нескольких субъектов РФ [1]. Кластер-ориентированная экономика является, на наш взгляд, эффективным механизмом повышения конкурентоспособности региона посредством сочетания кооперации и конкуренции [3]. Основные признаки промышленного кластера представлены на рисунке 2.

По состоянию на 2017 г. выявлено 137 кластеров, имеющих признаки промышленных, только 25 смогли подтвердить соответствие требованиям Министерства промышленности и торговли (Минпромторга).

Динамика распределения кластеров по федеральным округам в 2015–2017 гг. показана на рисунке 3.

Кластеры в настоящее время работают в 52 регионах страны. Количество участников объединений предприятий в 2017 г. достигло 4785 ед., против 3900 ед. в 2016 г.



Рисунок 2. Признаки промышленных кластеров

Figure 2. The characteristics of industrial clusters

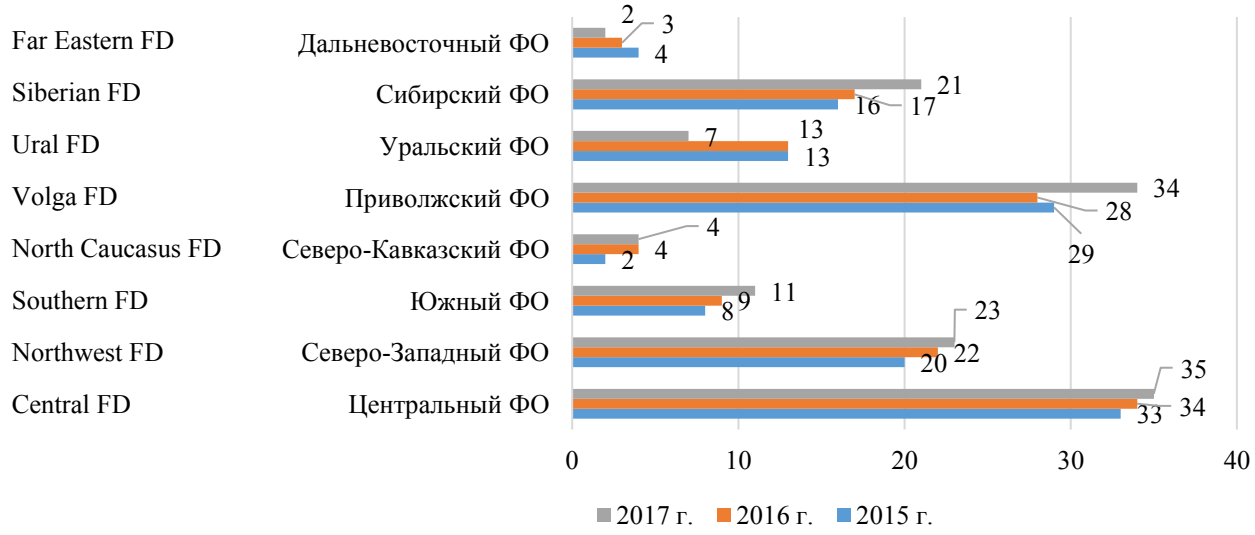


Рисунок 3. Динамика количества кластеров по федеральным округам РФ в 2015–2017 гг.

Figure 3. Dynamics of the number of clusters in the Federal districts of the Russian Federation in 2015–2017

Производительность труда кластеров из года в год увеличивается, за анализируемый период прирост по данному показателю составил +12%. Совокупный объем налоговых отчислений участников кластеров вырос на 11% или на 41,9 млрд р.

В Центральном федеральном округе в 2017 г. функционировало 35 кластеров, из них 4 включены в реестр Минпромторга. В период с 2016–2017 гг. государственную поддержку получили 7 проектов на сумму 1605,9 млн р.

В Воронежской области первые кластерные инициативы в сфере промышленности возникли еще в 2009–2010 гг. В настоящее время в регионе производственными предприятиями образовано 4 кластера, 1 из которых подтвердил соответствие требованиям Минпромторга (таблица 1).

Таблица 1.

Кластеры Воронежской области

Table 1.

Clusters of Voronezh region

Название кластера The name of the cluster	Наличие кластера в реестре Presence of a cluster in the registry	Специализация Specialization
Кластер производителей нефтегазового и химического оборудования Воронежской области Cluster of producers of oil and gas and chemical equipment of the Voronezh region	+	Станкостроительная и станкоинструментальная промышленность. Специальное машиностроение и оборудование для нефтегазовой промышленности Machine tool and machine-tool industry. Special machinery and equipment for the oil and gas industry
Воронежский авиационный кластер Voronezh aviation cluster	–	Авиационная промышленность Aviation industry
Воронежская электромеханика Voronezh electromechanics	–	Электротехническая промышленность. Радиоэлектронная промышленность и приборостроение Electrical industry. Radio electronic industry and instrument-making
Радиоэлектронный кластер Воронежской области | Radio-electronic cluster of the Voronezh region	–	Радиоэлектронная промышленность и приборостроение Radio-electronic industry and instrument-making

Воронежский областной кластер производителей нефтегазового и химического оборудования (далее – кластер), ставший первым в России промышленным кластером, включенным в реестр Минпромторга, является наиболее успешным кластерным образованием Воронежской области. Участники кластера осуществляют проектирование нефтехимического и газохимического производства и поставку оборудования для крупнейших российских компаний, таких, как ПАО «Газпром», ОАО «НК «Роснефть», ПАО «НК «Лукойл», ОАО «ТНК-ВР», ОАО «Новатэк», ПАО «Сибур».

Для выстраивания эффективной работы региональных промышленных предприятий с крупными госкомпаниями используется такой инструмент, как «дорожная карта». «Дорожная карта» представляет собой комплекс мероприятий, выстроенных в логической последовательности и имеющих конкретную цель, определенную во временном и ресурсном отношении. В 2017 г. подписана «дорожная карта» по развитию взаимовыгодного сотрудничества предприятий Воронежской области с компанией ПАО «Сибур», а в 2018 г. – с компанией ПАО «Газпром». ПАО «Газпром» является основным заказчиком для предприятий-участников кластера. В связи с этим разрабатываются и реализуются совместные проекты с привлечением субсидий федерального бюджета (таблица 2).

В Воронежской области продолжается работа по приведению промышленных кластеров региона в соответствие требованиям, предъявляемым Минпромторгом в рамках ФЗ № 488 «О промышленной политике в Российской Федерации» и установленным Постановлением Правительства РФ от 31.12.2014 № 779 «О промышленных кластерах и специализированных организациях промышленных кластеров» от 31.07.2015.

Так, на базе Ассоциации «Воронежский насосостроительный кластер» создан Межрегиональный насосостроительный кластер. В августе 2017 г. заключено соглашение о создании кластера между Воронежской, Липецкой областями и специализированной организацией промышленного кластера. Ассоциацией «Воронежский насосостроительный кластер» подготовлена программа развития. В настоящее время кластер находится на этапе внесения в реестр промышленных кластеров Минпромторга.

Таблица 2.

Совместные проекты промышленного кластера производителей нефтегазового и химического оборудования Воронежской области, поддержанные Минпромторгом

Table 2.

Joint projects of the industrial cluster of producers of oil and gas and chemical equipment of the Voronezh region, supported by the Ministry of industry and trade

Наименование проекта Project name	Инициаторы проекта Project initiator	Период реализации проекта, г. The implementation period of the project.	Совокупный объем инвестиций, млн р. Total investments, mln. RUB.	Объем государственной поддержки, млн р. The volume of state support, mln. RUB.
Создание модульной обвязки скважины The creation of a modular strapping well	ООО ФПК «Космос-Нефть-Газ», ООО«Производственный комплекс «КНГ»	2015–2016	99,6	49,8
Разработка и создание автоматизированных систем управления кустами газовых и газоконденсатных скважин в блочно-модульном исполнении (типа МОС, СУФА, Арматурные блоки) Development and creation of automated control systems for bushes of gas and gas condensate wells in block-modular design (MOS type, SUFA type, Reinforcement blocks type)		2016–2019	447,251	272,823

Заключение

Развиваться и достигать стратегических целей экономике региона позволит модернизация промышленного комплекса и, прежде всего, создание новых промышленных региональных кластеров и кластеров на межрегиональной основе, которые оказывают влияние на организацию инфраструктуры развития малого и среднего предпринимательства, эффективное функционирование системы поддержки инновационной и научно-технической деятельности в промышленности, рост объемов и номенклатуры производства высокотехнологичной промышленной продукции, а в дальнейшем и на рост доли высокотехнологичной промышленной продукции предприятий Воронежской области в общей структуре производства на национальном и международном рынках.

ЛИТЕРАТУРА

1 Вандышева С.В., Рыжков Е.И., Чудакова Е.А. Организационные аспекты создания кластерных образований // Экономика и управление в машиностроении. 2016. № 1. С. 13–17.

2 Шендрикова О.О., Вандышева С.В., Луценко М.С. Промышленный кластер: организационный и управленческий аспекты // Известия Юго-западного государственного университета. 2017. № 1 (70). С. 115–125.

3 Лукинова О.А., Смарчкова Л.В., Писаренко Н.Д. Оценка и управление социально-экономической эффективностью деятельности экономических агентов // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2014. № 12 (122). С. 74–78.

4 Саликов Ю.А., Зенин А.А., Барзенкова А.С., Букреев А.М. Механизм формирования и реализации кластерной политики про-мышленных предприятий и отраслей // Вестник ВГУИТ. 2013. № 4 (58). С. 252–257.

5 Хорев А.И., Саликов Ю.А., Булгакова И.Н. Совершенствование модели развития социально-экономических систем // Вестник ВГУИТ. 2009. № 4. С. 34–39.

6 Груздева В.В., Игошин А.Н. Некоторые аспекты потребления продуктов питания в регионе // Вестник НГИЭИ. 2017. № 9 (76). С. 110-118.

7 Старкова Н.О. Особенности налогового регулирования электронной коммерции в РФ // Вестник НГИЭИ. 2017. № 9 (76). С. 118-125.

8 Хорев А.И., Овчинникова Т.И., Пахомов А.И., Кобелева С.В. Методические подходы к анализу экономической безопасности инновационно-инвестиционных проектов в продовольственном комплексе // Вестник ВГУИТ. № 4 (58). С. 241–254.

9 Хорев А.И. и др. Предпринимательские инструменты управления бизнес-развитием: монография. Воронеж: Научная книга, 2007.

10 Zakharova E.N., Prokhorova V.V., Shutilov F.V., Klochko E.N. Modern Tendencies of Cluster Development of Regional Economic Systems // Mediterranean journal of social sciences. 2015. V. 6. № 5. doi: 10.5901/mjss.2015.v6n5s3p154

REFERENCES

1 Vandysheva S.V., Ryzhkov E.I., Chudakova E.A. Organizational aspects of creation of cluster formations. *Ekonomika i upravleniye v mashinostroyenii* [Economics and management in mechanical engineering]. 2016. no. 1. pp. 13–17. (in Russian).

2 Shendrikova S.A., Vandysheva, S.V., Lutsenko M.S. Industrial cluster: the organizational and management aspects. *Izvestiya Yugo-zapadnogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of southwest state University]. 2017. no. 1 (70). pp. 115–125. (in Russian).

3 Lukinova O.A., Smrckova L.V., Pisarenko N.D. Assessment and management of socio-economic efficiency of activity of economic agents. Vestnik *Samarskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta* [Bulletin of Samara state economic University]. 2014. no. 12 (122). pp. 74–78. (in Russian).

4 Salikov Yu.A., Zenin A.A., Barsenkova A.S., Boukreev A.M. Mechanism of formation and implementation of cluster policy of industrial enterprises and branches. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2013. no. 4 (58). pp. 252–257. (in Russian).

5 Khorev, A.I., Salikov, Y.A., Bulgakova, I.N. Improvement of the model of social and economic systems development. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2009. no. 4. pp. 34–39. (in Russian).

6 Gruzdeva V.V., Igoshin A.N. Some aspects of food consumption in the region. *Vestnik NGIEI* [Herald NGIEI]. 2017. no. 9 (76). pp. 110-118. (in Russian).

7 Starkova N.O. Features of tax regulation of e-commerce in the Russian Federation. *Vestnik NGIEI* [Herald NGIEI]. 2017. no. 9 (76). pp. 118-125. (in Russian).

8 Khorev A.I., Ovchinnikova T.I., Pakhomov A.I., Kobeleva S.V. Methodical approaches to the analysis of economic security of innovation and investment projects in the food industry. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. no. 4 (58). pp. 241–254. (in Russian).

9 Khorev A.I. et al. Predprinimatel'skiye instrumenty upravleniya biznes-razvitiyem [Entrepreneurial tools for managing business development: monograph]. Voronezh, Nauchnaya kniga, 2007. (in Russian).

10 Zakharova E.N., Prokhorova V.V., Shutilov F.V., Klochko E.N. Modern Tendencies of Cluster Development of Regional Economic Systems. Mediterranean journal of social sciences. 2015. vol. 6. no. 5. doi: 10.5901/mjss.2015.v6n5s3p154

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Юрий А. Саликов д.э.н., профессор, кафедра экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, saural@rambler.ru

Светлана В. Вандышева к.э.н., Государственное бюджетное учреждение Воронежской области «Центр кластерного развития промышленности Воронежской области», Площадь Ленина, 6а, г. Воронеж, 394018, Россия svvandysheva@mail.ru

Лилия В. Смарчкова к.э.н., доцент, кафедра коммерции и товароведения, РЭУ им. Г.В. Плеханова Воронежский филиал, ул. Карла Маркса, 67а, г. Воронеж, 394030, Россия, lilija-sma@rambler.ru

Елена А. Чудакова к.э.н., доцент, кафедра коммерции и товароведения, РЭУ им. Г.В. Плеханова Воронежский филиал, ул. Карла Маркса, 67а, г. Воронеж, 394030, Россия, chudakova_lena@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Юрий А. Саликов консультация в ходе исследования

Светлана В. Вандышева обзор литературных источников по исследуемой проблеме

Лилия В. Смарчкова написала рукопись, корректировала ее подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Елена А. Чудакова проанализировала статистические данные, представила их в графической форме

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 16.11.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 10.12.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Yuri A. Salikov Dr. Sci. (Econ.), professor, economic security and financial monitoring department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, saural@rambler.ru

Svetlana V.Vandysheva Cand. Sci. (Econ.), State budgetary institution of the Voronezh region "Center for cluster industrial development of the Voronezh region", Lenin Square, 6a, Voronezh, 394018, Russia svvandysheva@mail.ru

Liliya V. Smarchkova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, commerce and commodity science department, Plekhanov Russian University of Economics, Karl Marx street, 67a, Voronezh, 394030, Russia, lilija-sma@rambler.ru

Elena A. Chudakova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, commerce and commodity science department, Plekhanov Russian University of Economics, Karl Marx street, 67a, Voronezh, 394030, Russia, chudakova_lena@mail.ru

CONTRIBUTION

Yuri A. Salikov consultation during the study

Svetlana V.Vandysheva review of literature on the problem under study

Liliya V. Smarchkova wrote a manuscript, corrected its submission to the editor and is responsible for plagiarism

Elena A. Chudakova analyzed statistical data, presented them in graphical form

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 11.16.2018

ACCEPTED 12.10.2018