

ISSN 2226-910X

Вестник

*Воронежского
государственного*
**УНИВЕРСИТЕТА
ИНЖЕНЕРНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**



2013

№

3

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

**ВЕСТНИК
ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**PROCEEDINGS
OF THE VORONEZH STATE
UNIVERSITY OF ENGINEERING
TECHNOLOGIES**

2013, № 3 (57)

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ОСНОВАН В 1938 ГОДУ
ВЫХОДИТ 4 РАЗА В ГОД

**Воронеж
2013**

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

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА

Председатель:

ЧЕРТОВ Е.Д. – доктор технических наук, профессор, ректор ВГУИТ (главный редактор)

Заместитель председателя:

АНТИПОВ С.Т. – заслуженный изобретатель РФ, доктор технических наук, профессор, проректор по науке, технике и производству ВГУИТ (зам. главного редактора)

Члены редакционного совета:

АБРАМОВ Г.В. – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой информационных технологий, моделирования и управления

АНТИПОВА Л.В. – заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой пищевой биотехнологии и переработки животного и рыбного сырья

БИТЮКОВ В.К. – заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, президент ВГУИТ

КОРНЕЕВА О.С. – заслуженный работник Высшей школы, доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой микробиологии и биохимии

ОСТРИКОВ А.Н. – заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой процессов и аппаратов химических и пищевых производств

ПАНФИЛОВ В.А. – академик РАСХН, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологического оборудования пищевых предприятий МГУПП

ПОЛЯКОВ В.А. – академик РАСХН, доктор технических наук, профессор, директор ГНУ ВНИИ «Пищевая биотехнология»

ПОПОВ Г.В. – доктор технических наук, профессор, первый проректор ВГУИТ

РОГОВ И.А. – академик РАСХН, заслуженный деятель науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологии мяса и мясопродуктов МГУПП

СУХАНОВ П.Т. – доктор химических наук, профессор, проректор по учебной работе ВГУИТ

ХИЦКОВ И.Ф. – академик РАСХН, заслуженный деятель науки РФ, доктор экономических наук, профессор, директор НИИ экономики и организации АПК Центрально-Черноземного района России РАСХН

СМОЛЬЯНОВА Е.Л. – доктор экономических наук, профессор, декан факультета безотрывного образования

ШУТИЛИН Ю.Ф. – заслуженный изобретатель РФ, доктор технических наук, профессор

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ РУБРИК

Процессы и аппараты пищевых производств

ОСТРИКОВ А.Н. (гл. ред.), КАЛАШНИКОВ Г.В. (зам. гл. ред.), АБРАМОВ О.В., АНТИПОВ С.Т., ВАСИЛЕНКО В.Н., КОРНИЕНКО Т.С., КРАВЧЕНКО В.Н., КРАСОВИЦКИЙ Ю.В., КРЕТОВ И.Т., ЛЫТКИНА Л.И., РОДИОНОВА Н.С., ШАХОВ С.В., ШИШАЦКИЙ Ю.И.

Информационные технологии, моделирование и управление

БИТЮКОВ В.К. (гл. ред.), ХАУСТОВ И.А. (зам. гл. ред.), АБРАМОВ Г.В., АВЦИНОВ И.А., БЕЗРЯДИН Н.Н., БУГАЕВ Ю.В., КОЛОДЕЖНОВ В.Н., КУДРЯШОВ В.С., ЛЕБЕДЕВ В.Ф., ПОПОВ Г.В., РЯЖСКИХ В.И., ТИХОМИРОВ С.Г., ХВОСТОВ А.А., ШИТОВ В.В.

Пищевая биотехнология

АНТИПОВА Л.В. (гл. ред.), СЛОБОДЯНИК В.С. (зам. гл. ред.), БЕССОНОВА Л.П., ГОЛУБЕВА Л.В., ДВОРЯНИНОВА О.П., МАГОМЕДОВ Г.О., ПОНОМАРЁВА Е.И., СУЛЕЙМАНОВ С.М., УСПЕНСКАЯ М.Е., ШЕВЦОВ А.А.

Фундаментальная и прикладная химия, химическая технология

ШУТИЛИН Ю.Ф. (гл. ред.), КУЧМЕНКО Т.А. (зам. гл. ред.), ЖУЧКОВ В.А., КАРМАНОВА О.В., КОРЕНМАН Я.И., КОРЧАГИН В.И., МОКШИНА Н.Я., НИКУЛИН С.С., НИФТАЛИЕВ С.И., ПАНОВ С.Ю., СУХАНОВ П.Т., ФИЛИМОНОВА О.И.

Биотехнология, бионанотехнология и технология сахаристых продуктов

КОРНЕЕВА О.С. (гл. ред.), ГОЛЫБИН В.А. (зам. гл. ред.), БОЛОТОВ В.М., БОЖКО О.Ю., ГРИГОРОВ В.С., ГРОМКОВСКИЙ А.И., КУЛЬНЕВА Н.Г., ЛОСЕВА В.А., ЧЕРЁМУШКИНА И.В., ЧЕРЕНКОВ Д.А., ШУВАЕВА Г.П.

Экономика и управление

СМОЛЬЯНОВА Е.Л. (гл. ред.), ВОРОНИН В.П. (зам. гл. ред.), БАУТИН В.М., БОГОМОЛОВА И.П., ЖУРАВЛЕВ Ю.В., ОВЧИННИКОВА Т.И., ПАДАЛКИН В.Ю., ПАХОМОВ А.И., ПОДМОЛОДИНА И.М., САЛИКОВ Ю.А., ТАМОШИНА Г.И.

Ответственный секретарь: ДЕРКАНОСОВА А.А. (эл. почта: vestnikvgta@mail.ru)

Учредитель: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Журнал зарегистрирован Управлением Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций по Воронежской области: Свидетельство о регистрации ПИ № ТУ36-00232 от 29 декабря 2011 г.

Адрес университета, редакции, издательства и отдела полиграфии ФГБОУ ВПО «ВГУИТ»
394036, Воронеж, пр. Революции, 19
тел./факс: (473) 255-37-16

Сдано в набор 14.08. 2013. Подписано в печать 26.08.2013.
Формат 70×100 1/8.
Усл. печ. л. 32. Тираж 1500 экз. Заказ. С. – 256.
Цена – свободная.

© ФГБОУ ВПО
«Воронеж. гос. ун-т инж.
технол.», 2013

CONTENTS

PROCESSES AND APPARATUSES OF FOOD ENGINEERING

- Ostrikov A.N., Shevtsov S.A.** A formal approach to the management of extreme drying process plant material with superheated steam
- Kargashilov D.V., Gagrilenkov A.M., Romanuk E.V., Nekrasov A.V.** Development of the cyclone dust collector in the milling industry
- Vasilenko V.N., Kopylov M.V., Frolova L.N., Dragan I.V.** Mathematical model of raw material flow in the screw channel of oil press
- Lytкина L.I., Sayko D.S., Shevtsov C.A., Kleimenov A.I.** Solution of the problem of temperature fields distribution in the drying grain buckwheat process by superheated steam
- Ostrikov A.N., Zheltouhova E.U.** A mathematical model of the process of radiation-convective drying fruit and vegetable chips with pulsed energy supply
- Bredihin A.S., Chervetsov V.V.** Hydrodynamics of cooling whey at flow lactose crystallization
- Fatyhov U.A., Shumanov V.A., Zarudnyi V.A.** A mathematical model of the co-extruding process
- Potapov A.I., Ryazanov A.N., Belozertsev A.S., Pribytkov A.V.** Development of the construction freeze dryers for heat-sensitive products

INFORMATION TECHNOLOGIES, MODELLING AND CONTROL

- Ostrikov A.N., Stolyarov I.N.** A mathematical model of the roasting chestnuts process by superheated steam
- Golodenko B.A., Golodenko A.B.** Quantum-chemical modeling of the electronic properties of amorphous tetrahedral structure
- Burdo O.G., Terziev S.G., Yarovoy I.I., Borsch A.A.** Modeling of food raw material dehydration processes in the electromagnetic field
- Kudryashov V.S., Ivanov A.V., Gaydin A.A.** Calculation and simulation of robust digital control systems related non-stationary object
- Meerson V.E.** Model analysis of the industrial corporations functioning
- Korobova L.A., Matusov K.N., Gordienko O.A., Kutyaev I.S.** Organizational and technological system of energy supply and energy consumption (OTS "ENERGY")
- Ponomareva E.I., Alehina N.N., Zhuravlev A.A., Zhuravleva I.A.** Study of changes in the acidity of the sourdough spontaneous fermentation
- Mistrov L.E., Nikitin B.E., Uhin O.V.** System modeling of the competitiveness of small enterprises
- Zdorovtsev P.A.** Simulation modeling slow spatially heterogeneous coagulation
- Shitov V.V., Urazov D.U., Ryazanov A.N., Ivashin A.L.** Development of the software architecture of a universal system thermal imaging diagnostics
- Antipov S.T., Ryazanov A.N., Ivashin A.L., Urazov D.U.** Designing logical and physical models of a universal system thermal imaging diagnostics

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

- 7 **Остриков А.Н., Шевцов С.А.** Формализованный подход к экстремальному управлению процессом сушки растительного сырья перегретым паром
- 13 **Каргашилов Д.В., Гавриленков А.М., Романюк Е.В., Некрасов А.В.** Разработка циклона-пылеуловителя в мукомольном производстве
- 18 **Василенко В.Н., Копылов М.В., Фролова Л.Н., Драган И.В.** Математическая модель движения сырья в шнековом канале маслопресса
- 23 **Лыткина Л.И., Сайко Д.С., Шевцов С.А., Клейменов А.И.** Решение задачи распределения температурных полей в процессе сушки зерна гречихи перегретым паром
- 29 **Остриков А.Н., Желтоухова Е.Ю.** Математическая модель процесса радиационно-конвективной сушки фруктовых и овощных чипсов при импульсном энергоподводе
- 36 **Бредихин А.С., Червецов В.В.** Гидродинамика процесса охлаждения молочной сыворотки при поточной кристаллизации лактозы
- 41 **Фатыхов Ю.А., Шуманов В.А., Зарудный В.А.** Математическая модель процесса коэкструдирования
- 44 **Потапов А.И., Рязанов А.Н., Белозерцев А.С., Прибытков А.В.** Разработка конструкции лиофильной сушилки для термолабильных продуктов

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ

- 49 **Остриков А.Н., Столяров И.Н.** Математическая модель процесса обжарки каштанов перегретым паром
- 55 **Голоденко Б.А., Голоденко А.Б.** Квантово-химическое моделирование электронных свойств аморфной тетраэдрической структуры
- 62 **Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Яровой И.И., Борщ А.А.** Моделирование процессов обезвоживания пищевого сырья в электромагнитном поле
- 66 **Кудряшов В.С., Иванов А.В., Гайдин А.А.** Расчёт и моделирование цифровой робастной системы управления связанным нестационарным объектом
- 72 **Меерсон В.Э.** Модели анализа функционирования производственных корпораций
- 76 **Коробова Л.А., Матусов К.Н., Гордиенко О.А., Кутявин И.С.** Организационно-технологическая система энергообеспечения и энергопотребления (ОТС "ЭНЕРГИЯ")
- 82 **Пономарева Е.И., Алехина Н.Н., Журавлев А.А., Журавлева И.А.** Исследование изменения кислотности в закваске спонтанного брожения
- 85 **Мистров Л.Е., Никитин Б.Е., Ухин О.В.** Системное моделирование конкурентоспособности малых предприятий
- 92 **Здоровцев П.А.** Имитационное моделирование процесса медленной пространственно неоднородной коагуляции
- 96 **Шитов В.В., Уразов Д.Ю., Рязанов А.Н., Ивагин А.Л.** Разработка архитектуры программного обеспечения универсальной системы тепловизионной диагностики
- 99 **Антипов С.Т., Рязанов А.Н., Ивагин А.Л., Уразов Д.Ю.** Проектирование физической и логической моделей универсальной системы тепловизионной диагностики

FOOD BIOTECHNOLOGY

Antipova L.V., Ryazanov A.N., Storublevtsev S.A., Bazrova F.S. Investigation of the sorption of iodine on a collagen carrier to obtain a functional ingredient for food systems

Magomedov G.O., Bogdanov V.V., Shevyakova T.A., Zhuravlev A.A. Development of mixing-whipping-forming facility for confectionery

Ponomareva E.I., Alehina N.N., Zhuravleva I.A. Selecting parameters of preparation sourdough spontaneous fermentation of wheat bioactivated

Paschenko L.P., Kolosova G.V., Paschenko V.L. Natural sweetener in food technology

Antipova L.V., Ryazanov A.N., Storublevtsev S.A., Bazrova F.S. Alimentary corrective properties of iodine-enriched functional product

Vasilenko L.I., Frolova L.N., Dragan I.V., Moshkina S.V. Creating functional blends of vegetable oils with a long shelf life

Magomedov G.O., Zhuravlev A.A., Magomedov M.G., Astredinova V.V., Litvinova A.A. Optimization of conditions for enzymatic modification of sugar beet puree using experimental and statistical approach

Orehov O.G. Justification obtain natural glue from the bone residue of broiler chickens

Aksenova L.M., Taleysnik M.A., Gerasimov T.V., Kochetov V.K. Obtaining sour invert syrup using cavitation processing methods

FUNDAMENTAL AND APPLIED CHEMISTRY, CHEMICAL TECHNOLOGY

Silina U.E., Spiridonov B.A., Bitutskikh M.U., Kuchmenko T.A. Sorption extraction of Cu (II) and Co (II) by modified composite based on nanoporous aluminum oxide

Tkachev A.V., Sedych V.A. Modern technology of anionic polymerization monomers

Korneho Tueros H.V., Nikulina N.S., Poyarkova T.N., Nikulin S.S. Effect of dosage of quaternary ammonium salts on the molecular weight of rubber in the allocation fractions

Popova N.N., Kuchmenko T.A., Levchenko A.U. Studying formation the smell of fish chopped semis at enrichment them by polyunsaturated fatty acids using a piezo sorption "electronic nose"

Zhdanova S.V., Nikulina N.S., Poyarkova T.N., Nikulin S.S. Isolation of rubber from latex coagulant based on cellulose acetate fibers and dimethyldiallylammonium chloride copolymer with acrylamide

BIOTECHNOLOGY, BIONANOTECHNOLOGY AND SUGAR PRODUCTS TECHNOLOGY

Cheremushkina I.V., Korneeva O.S., Shevtsov A.A., Mazhulina I.V. Energy analysis of innovative technologies cultivation microbial enzyme producers

Kiryanova S.V., Cherenkov D.A., Tolkacheva A.A., Korneeva O.S. Obtaining the recombinant α -L-fucosidase (alfB)

ПИЩЕВАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ

Антипова Л.В., Рязанов А.Н., Сторублевцев С.А., Базрова Ф.С. Исследование процесса сорбции йода на коллагеновом носителе в получении функционального ингредиента для пищевых систем

Магомедов Г.О., Богданов В.В., Шевякова Т.А., Журавлев А.А. Разработка смесительно-сбивально-формирующей установки для мучных кондитерских изделий

Пономарева Е.И., Алехина Н.Н., Журавлева И.А. Выбор параметров приготовления закваски спонтанного брожения из биоактивированного зерна пшеницы

Пашенко Л.П., Колосова Г.В., Пашенко В.Л. Натуральный сахарозаменитель в технологии пищевых продуктов

Антипова Л.В., Рязанов А.Н., Сторублевцев С.А., Базрова Ф.С. Алиментарнокорректирующие свойства йодобогатенного функционального продукта

Василенко Л.И., Фролова Л.Н., Драган И.В., Мошкина С.В. Создание купажей функциональных растительных масел с длительным сроком хранения

Магомедов Г.О., Журавлев А.А., Магомедов М.Г., Литвинова А.А. Оптимизация условий ферментативной модификации пюре сахарной свеклы с использованием экспериментально-статистического подхода

Орехов О.Г. Обоснование получения натурального клея из костного остатка цыплят-бройлеров

Аксенова Л.М., Талейсник М.А., Герасимов Т.В., Кочетов В.К. Получение кислого инвертного сиропа с применением кавитационных способов обработки

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ХИМИЯ, ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Силина Ю.Е., Спиридонов Б.А., Битюцких М.Ю., Кучменко Т.А. Сорбционное извлечение Cu (II) и Co (II) модифицированным композитом на основе нанопористого оксида алюминия

Ткачев А.В., Седых В.А. Современные технологии анионной полимеризации мономеров

Корнехо Туэрос Х.В., Никулина Н.С., Пояркова Т.Н., Никулин С.С. Влияние дозировки четвертичных солей аммония на молекулярную массу каучуков в выделяемых фракциях

Попова Н.Н., Кучменко Т.А., Левченко А.Ю. Изучение формирования запаха рыбных рубленых полуфабрикатов при обогащении их полиненасыщенными жирными кислотами с применением пьезосорбционного «электронного носа»

Жданова С.В., Никулина Н.С., Пояркова Т.Н., Никулин С.С. Выделение каучука из латекса коагулянтном на основе ацетилцеллюлозного волокна и сополимера диметилдиаллиламмоний хлорида с акриламидом

БИОТЕХНОЛОГИЯ, БИОНАНОТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ САХАРИСТЫХ ПРОДУКТОВ

Черемущкина И.В., Корнеева О.С., Шевцов А.А., Мажулина И.В. Эксергетический анализ инновационной технологии культивирования микробных продуцентов ферментов

Кириянова С.В., Черенков Д.А., Толкачева А.А., Корнеева О.С. Получение рекомбинантной α -L-фукозидазы (alfB)

Yakovlev A.N., Yakovleva S.F., Kovaleva T.S., Peshkov A.A. The accumulation of by-products in the process of alcoholic fermentation

Kulneva N.G., Zhuravlev M.V., Pihunova O.G., Paramonova K.A. Justification scheme of separating a liquid non-sugars before the main cleaning in sugar beet production

Golybin V.A., Fedoruk V.A., Nasonova O.S., Gorohov A.N. Improving the efficiency of the final stage of lime-carbon dioxide extract purification

ECONOMICS AND MANAGEMENT

Smolianova E.L., Derevyankin I.A., Dudkin U.A. Evaluation of the factors of innovation activity on the monitoring of the food industry Voronezh region

Sovik L.E. Development analyzers transactions in monitoring the business activities of organizations

Gasilov V.V., Shitikov D.V. Risk assessment models of public-private partnership in the road sector

Baturina E.V., Rudyka E.A., Matushenko I.N. Socio-economic importance of the discipline "Safety"

Derevyankin I.A. Development of a comprehensive methodology for assessing the innovation activity of food industry enterprises

Sirotkina N.V., Bryakina A.V. Instrumental provision of indicative management food industry and its improvement

Urov E.V. Justification prospects of small enterprises

Matushenko S.E. Evaluating the effectiveness of business processes of agriculture organization

Karpovich M.A. Methods for the quantitative description of the social consequences of transport infrastructure projects

Strorublevtsev S.A., Lavrov S.V., Kolomytseva O.U., Duvanova U.N. Techno-economic evaluation of the production functional ingredients and functional foods

Яковлев А.Н., Яковлева С.Ф., Ковалева Т.С., Пешков А.А. Накопление побочных продуктов в процессе спиртового брожения

Кульнева Н.Г., Журавлев М.В., Пихунова О.Г., Парамонова К.А. Обоснование схемы с отделением осадка несахаров до основной очистки в свеклосахарном производстве

Голыбин В.А., Федорук В.А., Насонова О.С., Горохов А.Н. Повышение эффективности завершающего этапа известково-углекислотной очистки диффузионного сока

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Смолянова Е.Л., Деревянкин И.А., Дудкин Ю.А. Оценка факторов инновационной активности по результатам мониторинга предприятий пищевой промышленности Воронежской области

Совик Л.Е. Разработка анализаторов транзакций в системах мониторинга бизнес-деятельности организаций

Гасилов В.В., Шитиков Д.В. Оценка рисков моделей государственно-частного партнерства в дорожном хозяйстве

Батурина Е.В., Рудыка Е.А., Матюшенко И.Н. Социально-экономическая значимость дисциплины «Безопасность жизнедеятельности»

Деревянкин И.А. Разработка комплексной методики оценки инновационной активности предприятий пищевой промышленности

Сироткина Н.В., Брякина А.В. Инструментальное обеспечение индикативного управления предприятиями пищевой промышленности и его совершенствование

Юров Е.В. Обоснование перспектив развития малых форм хозяйствования

Матюшенко С.Е. Оценка эффективности бизнес-процессов сельскохозяйственной организации

Карпович М.А. Методы количественного описания социальных последствий реализации проектов транспортной инфраструктуры

Сторублевцев С.А., Лавров С.В., Коломыцева О.Ю., Дуванова Ю.Н. Техничко-экономическая оценка производства функциональных ингредиентов и функциональных продуктов питания

УДК 631.563.2:664.6/.7

Профессор А.Н. Остриков

(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра процессов и аппаратов химических и пищевых производств, тел. (473) 255-38-87

Старший научный сотрудник С.А. Шевцов

(ФГБУ ВПО «Воронежский институт ГПС МЧС России»)

Формализованный подход к экстремальному управлению процессом сушки растительного сырья перегретым паром

Сущность формализованного подхода к экстремальному управлению процессом сушки растительного сырья перегретым паром состоит в том, что коррекция режима сушки осуществляется в зависимости от начальной влажности и температуры исходного продукта. При этом ведется поиск оптимального расхода исходного продукта, соответствующего максимуму удельной производительности сушилки по испаренной влаге.

The formalized approach to extreme control of plant raw material drying process by superheated steam means that the correction of drying regime takes place in the dependence of initial and final water content and temperature of raw material. Besides the search of optimal raw material outflow capacity which corresponds to dryer maximum specific capacity by evaporation is being carried out.

Ключевые слова: процесс сушки, управление, экстремум функции.

Применение перегретого пара атмосферного давления в качестве сушильного агента вместо воздуха накладывает свои отличия на особенности управления процессом сушки. Вследствие однородности используемого теплоносителя и испаряемой из продукта влаги появляется возможность полной утилизации энергии отработанного перегретого пара.

В известных способах сушки пищевого сырья перегретым паром атмосферного давления часть отработанного перегретого пара в количестве испаряемой из продукта влаги отводится из контура рециркуляции на предварительный подогрев продукта в теплообменнике без раздела поверхности фаз. Однако для повышения энергетической эффективности процесса сушки необходимо поддерживать балансовые соотношения материальных и энергетических потоков с объемом перегретого пара в контуре рециркуляции, соответствующего максимальному количеству испаряемой из продукта влаги.

В этой связи предлагается формализованный подход к экстремальному управлению процессом сушки растительного сырья перегретым паром, в соответствии с которым осуществляется непрерывный поиск оптимального (экстремального) значения функции цели, в качестве которой

продукта влаги в единицу времени к расходу исходного продукта:

$$R = \frac{U_{исп}}{G_{np}^{ex}} = \frac{G_{np}^{ex} \left(\frac{W_n - W_k}{100} \right)}{G_{np}^{ex}} \quad (1)$$

где $G_{np}^{ex} = G_{np}^{ex} \frac{100 - W_n}{100 - W_k}$, W_n , W_k – влажность исходного и высушенного продукта, %.

Существование экстремума критерия R можно объяснить следующими соображениями. При чрезмерном увеличении расхода исходного продукта, входящего в знаменатель (1), значение критерия уменьшается. С другой стороны, чрезмерное уменьшение расхода исходного продукта приводит к снижению скорости влагоудаления, то есть уменьшению количества испаренной из продукта влаги в единицу времени, входящего в числитель критерия, а следовательно, ведет к снижению R .

Таким образом, очевидно существование компромисса между количеством испаренной из продукта влаги и производительностью сушилки по исходному продукту, определяемого оптимальным значением расхода исходного продукта $(G_{np}^{ex})^*$, соответствующего максимальному значению отношения (1).

Изменение температуры исходного продукта зависит от количества отработанного перегретого пара, подаваемого на предварительную тепловую обработку, и определяется из уравнения теплового баланса:

$$G_{np}^{ex} c_{np} t_{np1} + G_{para}^{ex} i' = G_{np}^{ex} c_{np}'' t_{np2} + G_{para}^{ex} i'' + Q_{nom}, \quad (2)$$

где $G_{np}^{ex}, G_{np}^{exx}$ – расход исходного и высушенного продукта, кг/ч; c_{np}', c_{np}'' – теплоёмкость

исходного и высушенного продукта, кДж/(кг·К) (в расчётах для простоты примем $c_{np}' = c_{np}'' = \bar{c}$); t_{np1}, t_{np2} – температура продукта

после теплообменника и на выходе из сушилки, К; $G_{para}^{ex}, G_{para}^{exx}$ – расход перегретого пара

на входе и выходе из сушилки, кг/ч; i', i'' – теплосодержание перегретого пара на входе и выходе из сушилки, кДж/кг; Q_{no} – потери теплоты в окружающую среду, кДж/ч.

Выразим расход перегретого пара на выходе из сушилки через расход пара на входе и количество перегретого пара, отводимого из контура рециркуляции на предварительный подогрев продукта:

$$G_{para}^{exx} = G_{para}^{ex} + U_{отвод}, \quad (3)$$

Причём G_{para}^{ex} зависит от расхода исходного продукта, подаваемого в сушилку.

Подставим (3) в (2) и разрешим относительно $U_{отвод}$:

$$U_{отвод} = \frac{G_{np}^{ex} \left(c_{np}' t_{np1} - \frac{100-W}{100-W} c_{np}'' t_{np2} \right) + G_{para}^{ex} (i' - i'') - Q_{nom}}{i''} \quad (4)$$

Уравнение (4) позволяет в статике определять количество пара, отводимого из контура рециркуляции, и может быть использовано для расчета теоретического процесса сушки, когда параметры исходного продукта и прежде всего его начальная влажность остается постоянной, а следовательно, можно с высокой долей вероятности считать, что постоянной будет и производительность сушилки по влажному продукту.

В действительности же для реального процесса сушки возможно не только изменение начальной влажности продукта в определенном диапазоне, обусловленного погодно-

климатическими условиями, но и изменение темпа подачи продукта на сушку в связи с переборами в поставках и заготовках сырья.

Найдем производную отношения (количества испаряемой из продукта влаги в единицу времени к расходу исходного продукта) по расходу исходного продукта $\partial R / \partial G_{np}^{ex}$, по которой определим экстремальное (оптимальное) значение расхода исходного продукта $(G_{np}^{ex})^*$, обеспечивающего максимальное значение оптимизируемого показателя (1):

$$R = \frac{U_{исп}}{G_{np}^{ex}} \rightarrow \max. \quad (5)$$

По данным экспериментальных исследований зависимость $(U_{исп} / G_{np}^{ex}) = f(G_{np}^{ex})$ может быть аппроксимирована уравнением второй степени в исследуемом интервале значений G_{np}^{ex} :

$$\frac{U_{исп}}{G_{np}^{ex}} = -A(G_{np}^{ex})^2 + B(G_{np}^{ex}) - C, \quad (6)$$

где A, B, C – эмпирические коэффициенты, $A, B, C > 0$.

Необходимое условие экстремума:

$$\frac{\partial (U_{исп} / G_{np}^{ex})}{\partial G_{np}^{ex}} = -2AG_{np}^{ex} + B = 0. \quad (7)$$

Отсюда следует оптимальное значение расхода исходного продукта:

$$(G_{np}^{ex})^* = B/2A \quad (8)$$

Так как $\frac{\partial^2 (U_{исп} / G_{np}^{ex})}{\partial (G_{np}^{ex})^2} = -2A < 0$, то в точке

экстремума (5) имеет место максимум.

Изменение начальной влажности продукта существенно влияет на смещение (сдвиг) оптимума, поэтому выбор оптимальных решений по алгоритму (5) – (8) относится к задаче с дрейфующим оптимумом. Оптимальные значения расхода исходного продукта следует выбирать из условия максимума экстремальных характеристик $(U_{исп} / G_{np}^{ex}) = f(G_{np}^{ex}, W_n)$, эмпирические коэффициенты которых A, B, C определяются экспериментально.

Предлагаемый формализованный подход позволил разработать способ автоматического управления процессом сушки продуктов растительного происхождения перегре-

тым паром атмосферного давления, обеспечивающий повышение производительности сушильных установок с учетом ограничений, накладываемых на управляемые параметры в условиях случайных возмущений.

Способ осуществляется следующим образом (рисунок 1).

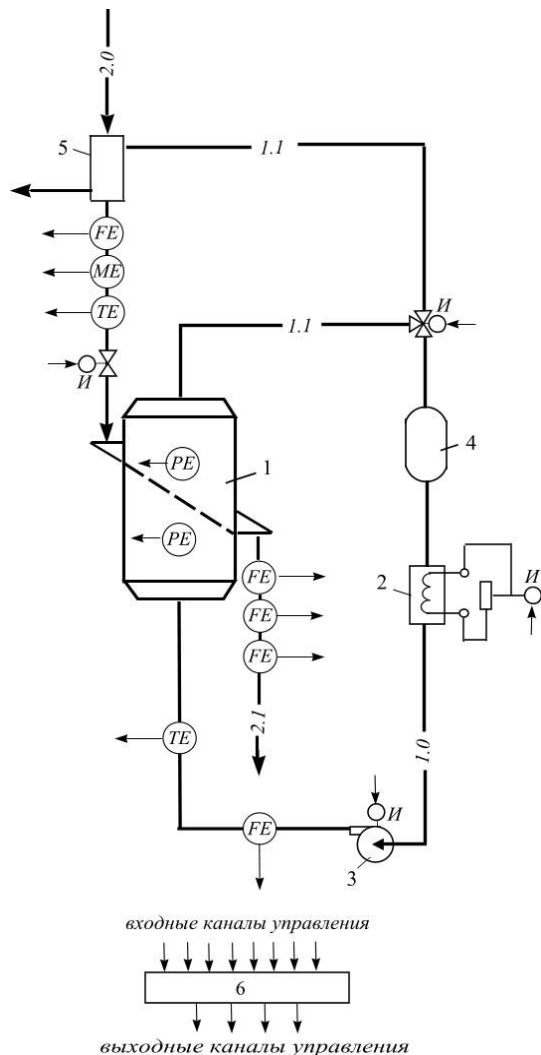


Рисунок 1 - Схема экстремального управления процессом сушки перегретым паром атмосферного давления:

1 – сушилка; 2 – пароперегреватель; 3 – вентилятор; 4 – ресивер; 5 – теплообменник; 6 – микропроцессор; датчики: *TE* – температуры, *FE* – расхода; *PE* – давления; *ME* – влажности; *И* – исполнительные механизмы; 1.0 – перегретый пар, 1.1 – отработанный перегретый пар; 2.0 – влажный продукт, 2.1 – высушенный продукт

По информации датчиков о текущих значениях расхода и влажности исходного продукта микропроцессор вычисляет фактический поток влаги, подаваемый с исходным продук-

том по линии 2.0 в сушилку 1, в соответствии с которым устанавливает расход перегретого пара на входе в сушилку по линии 1.0.

По сигналу рассогласования текущего значения расхода перегретого пара и заданного микропроцессор посредством исполнительного механизма регулируемого привода вентилятора высокого давления 3 устанавливает необходимый расход перегретого пара на входе в сушилку.

Микропроцессор определяет перепад давления перегретого пара в слое продукта и при достижении предельно допустимого значения перепада давления формирует сигнал на изменение расхода перегретого пара на входе в сушилку 1, тем самым предотвращая унос частиц продукта с отработанным перегретым паром, а по температуре исходного продукта после теплообменника, устанавливает мощность ТЭНов пароперегревателя.

По текущим значениям влажности исходного и высушенного продукта температуры исходного продукта после теплообменника и высушенного продукта, расхода исходного продукта, температуры и расхода перегретого пара на входе в сушилку микропроцессор по формуле (4) вычисляет количество отработанного перегретого пара, отводимого из контура рециркуляции в теплообменник 5 на предварительный подогрев исходного продукта.

Во избежание технологических сбоев в линии рециркуляции установлен ресивер 4.

В процессе сушки микропроцессор вычисляет отношение количества испаряемой из продукта влаги в единицу времени к расходу исходного продукта по формуле (1), определяет производную этого соотношения, находит оптимальное значение расхода исходного продукта из условия экстремума и поддерживает его в установившемся режиме сушки.

Изменение расхода исходного продукта будет осуществляться в антибатной (экстремальной) зависимости и определяться знаком производной $\partial R / \partial G_{\text{пр}}^{\text{вх}}$. Если $\partial R / \partial G_{\text{пр}}^{\text{вх}} > 0$, то расход исходного продукта будет уменьшаться, и наоборот, если $\partial R / \partial G_{\text{пр}}^{\text{вх}} < 0$, то расход исходного продукта будет увеличиваться.

Предлагаемый способ реализован в экспериментальных условиях кафедры процессов и аппаратов химических и пищевых производств на полупромышленной сушильной установке, предназначенной для сушки пищевого расти-

тельного сырья в кипящем слое перегретым паром. В качестве объекта сушки использовались топинамбур, грибы «Шампиньоны», белые коренья петрушки, пастернака и сельдерея.

Рациональные параметры процесса сушки [1 - 4], значения эмпирических коэффициентов в уравнении (6) (таблица 1) позволили реализовать экстремальное управление в широком диапазоне изменения начальной влажности выбранных объектов сушки.

Возможные изменения начальной влажности продукта даже приводят к изменению гидродинамической обстановки в рабочем объеме сушилки. При уменьшении начального влагосодержания, например, топинамбура с 7 кг/кг до 6,7 кг/кг, необходимо снизить расход перегретого пара на входе в сушилку и обеспечить перепад его давления в слое продукта

1000 Н/м², при увеличении начальной влажности крупы до 7,4 кг/кг необходимо увеличить расход перегретого пара до достижения предельно допустимого значения перепада давления в слое продукта, например 1030 Н/м². Ограничения расхода перегретого пара на входе в сушилку по перепаду его давления в слое частиц топинамбура обеспечивает необходимый расход перегретого пара на входе в сушилку, а следовательно, и скорость витания частиц, исключая их унос с отработанным перегретым паром.

В таблице 2 представлены результаты сравнения некоторых технико-экономических показателей известного и предлагаемого способов. В качестве известного используется заводской способ управления процессом сушки на Грязинском пищекомбинате.

Т а б л и ц а 1

Значения режимных параметров и эмпирических коэффициентов

Продукт	u	$G_{\text{п}}$	$T_{\text{п}}$	$v_{\text{п}}$	$\left(\frac{U_{\text{исп}}}{G_{\text{пр}}^{\text{вх}}} \right)_{\text{max}}$	$(G_{\text{пр}}^{\text{вх}})^*$	Значения эмпирических коэффициентов в уравнении (6)		
	кг/кг	кг/ч	К	м/с	кг/кг	кг/ч	$A \cdot 10^{-3}$	B	C
Топинамбур	7,2		417	1,5	0,160	130,00	4,0	1,040	67,440
Сельдерей	3,5		393	1,5	0,175	129,35	3,6	0,931	60,058
Петрушка	3,7		423	1,5	0,176	129,40	3,6	0,932	60,060
Шампиньоны	7,0		433	1,5	0,210	131,04	3,7	1,042	66,174
Пастернак	3,8		393	1,5	0,182	128,00	3,2	0,822	52,657

Т а б л и ц а 2

Технико-экономические показатели сравниваемых способов управления

Технико-экономические показатели	Известный способ	Предлагаемый способ
Производительность сушилки по испаренной влаге, кг/ч	26,4	22,5
Вид используемого сушильного агента	Воздух	Перегретый пар
Удельные энергозатраты, Дж/кг	3780	3517
Колебания конечной влажности продукта, %	9,8±1,0	9,8±0,3
Продолжительность сушки, мин	48	4,5 - 5,0
Удельный расход сушильного агента, (м ³ /с·кДж)·10 ⁻³	0,74	0,18

Как показали предварительные эксперименты, для начального влагосодержания топинамбура $u_{\text{н}} = 7,2 \pm 0,2$ кг/кг и его расхода $G_{\text{пр}}^{\text{вх}} = 130 \pm 3$ кг/ч расход перегретого пара на входе в сушилку должен составлять $G_{\text{пара}}^{\text{вх}} = 0,587$ м³/с, а его температура $T_{\text{пара}}^{\text{вх}} = 144 \pm 1$ °С.

По расходу и начальной влажности топинамбура микропроцессор определяет поток

влаги по формуле:

$$G_{\text{влаги}} = G_{\text{пр}}^{\text{вх}} \cdot \frac{W_{\text{н}}}{100}, \quad (9)$$

в соответствии с которым, устанавливает необходимый расход перегретого пара на входе в сушилку. В установившемся режиме сушки при постоянных показателях исходного продукта с температурой после теплообменника, например $30 \pm 0,5$ °С, температура перегретого пара на входе в сушилку должна составлять

$148 \pm 0,5$ °С. Для текущих значений расхода и температуры топинамбура (125 кг/ч и 24 °С) и значений расхода и температуры перегретого пара на входе в сушилку (1080 кг/ч и 147 °С) количество излишней части отработанного перегретого пара $U_{\text{отвод}} = 22,5$ кг/ч. Сигнал, пропорциональный этому количеству перегретого пара, с микропроцессора подаётся на исполнительный механизм и отводит излишнюю часть отработанного перегретого пара в теплообменник 5 на предварительный подогрев исходного продукта. В результате теплообмена топинамбур нагревается, его температура на выходе из теплообменника фиксируется датчиком. Сигнал, пропорциональный изменению текущей температуры топинамбура после теплообменника, подаётся в микропроцессор, который в свою очередь корректирует температурный режим сушки воздействием на теплоподвод путём изменения мощности ТЭНов пароперегревателя.

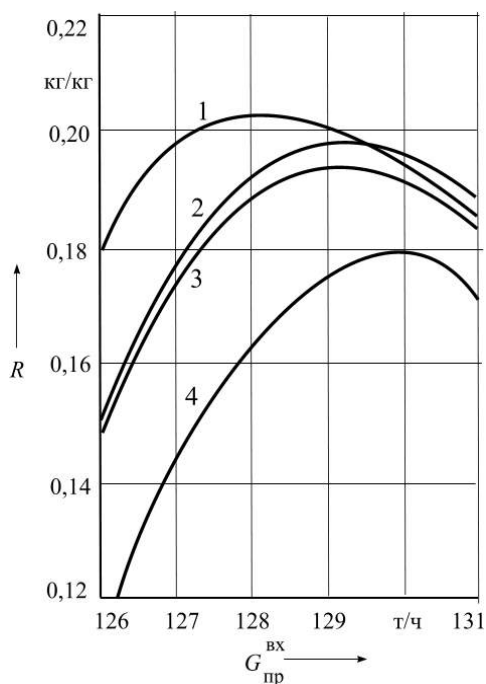


Рисунок 2 - Экстремальные характеристики управления процессом сушки продуктов растительного происхождения в кипящем слое перегретым паром при технологических режимах (таблица 2): 1 – шампиньоны, 2 – пастернак, 3 – петрушка, 4 – сельдерей

Стабилизация текущего значения влажности высушенного топинамбура в интервале заданных значений, например $9,8 \pm 0,2$ %, осуществляется посредством двойной коррекции температуры перегретого пара на входе в сушилку, обеспечивая получение высушенного продукта заданной конечной влажности.

Таким образом, в предлагаемом способе

управления одновременно обеспечивается коррекция режима сушки в зависимости от случайных возмущений (начальной влажности и температуры исходного продукта) и непрерывно осуществляется поиск оптимального расхода исходного продукта, соответствующего максимуму удельной производительности сушилки по испаренной влаге.

Предлагаемый способ позволяет повысить энергетическую эффективность процесса сушки на 10 %; увеличить производительность сушилки по испаренной влаге на 15-20 %; сократить продолжительность сушки; обеспечить максимальное использование теплоты отработанного перегретого пара; вследствие снижения инерционности управления сузить интервал отклонений конечной влажности продукта; улучшить экологическую безопасность за счет проведения процесса сушки в замкнутом цикле.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Остриков, А.Н. Математическое моделирование процесса сушки пищевого растительного сырья перегретым паром [Текст] / А.Н. Остриков, С.А. Шевцов // Известия вузов. Пищевая технология. – 2013. – № 1. – С. 83-87.
- 2 Остриков, А. Н. Энергетическая оценка процесса сушки культивируемых грибов перегретым паром атмосферного давления [Текст] / А.Н. Остриков, С. А. Шевцов // Современные наукоемкие технологии – 2004. – № 2. – С. 88-89.
- 3 Патент РФ № 2246841. Способ производства сушеных грибов [Текст] / А.Н. Остриков, С.А. Шевцов. - Заявл. 31.12.2003; Опубл. 27.02.2005; Бюл. № 6.
- 4 Остриков, А.Н. Энергосберегающие технологии и оборудование для сушки пищевого сырья [Текст] /А.Н. Остриков, И.Т. Кретов, А.А. Шевцов и др. – Воронеж: ВГТА, 1998. – 344 с.
- 5 Патент РФ № 2133094. Способ сушки овощей и фруктов [Текст] / В.Г. Кашников, Е.Ф. Сафьянов, Г.И. Яроцкий. – Заявл. 04.01.1996; Опубл. 20.07.1999.
- 6 Остриков, А. Н. Исследование кинетики переменных режимов сушки корней петрушки [Текст] / А.Н. Остриков, Ю.В. Складчикова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2009. – № 2. – С. 67-69.

REFERENCES

- 1 Ostrikov, A.N. Mathematical modeling of drying food plant materials with superheated

steam [Text] / A. N. Ostrikov, S.A. Shevtsov // News of high schools. Food technology . - 2013. - № 1. - P. 83-87 .

2 Ostrikov, A.N. Energy valuation is the process of drying of cultivated mushrooms superheated steam at atmospheric pressure [Text] / A.N. Ostrikov, S.A. Shevtsov // Modern high technologies. - 2004. - № 2. - P. 88-89.

3 Patent RF № 2246841 . Method of production of dried mushrooms [Text] / A.N. Ostrikov, S.A. Shevtsov. - Appl. 31.12.2003, Publ. 27.02.2005; Bull. № 6.

4 Ostrikov, A. N. Energy-saving technolo-

gies and equipment for drying food raw [Text] / A.N. Ostrikov , I.T. Kretov, S.A. Shevtsov et al. - Voronezh: VSTA, 1998. - 344 p.

5 Patent RF № 2133094. The method of drying fruits and vegetables [Text] / V.G. Kashnikov, E.F. Safyanov, G.I. Yarotskiy. - Appl . 04.01.1996, Publ. 20.07.1999.

6 Ostrikov, A.N. Kinetics of variable modes of drying parsley root [Text] / A.N. Ostrikov, Y.V. Skladchikova // Storage and refining agricultural raw materials. - 2009. - № 2. - P. 67-69 .

УДК 519.8:621.928.83

Старший преподаватель Д.В. Каргашилов,
профессор А.М. Гавриленков

(Воронеж. гос. ун-т инженерных технологий) кафедра инженерной экологии и техногенной безопасности, тел. (473) 249-60-24

старший преподаватель Е.В. Романюк, доцент А.В. Некрасов

(Воронежский институт ГПС МЧС России) кафедра пожарной безопасности технологических процессов, тел. (473) 236-33-05

Разработка циклона-пылеуловителя в мукомольном производстве

В статье предложена новая усовершенствованная конструкция циклона-пылеуловителя с конической вставкой. Приводятся результаты испытания в условиях мукомольного производства.

In article the new advanced design of a cyclone dust collector with a conic insert is offered. Results of its test in the conditions of flour-grinding production are given.

Ключевые слова: циклон, пыль, пылеулавливание, мукомольное производство, очистка.

Проблема минимизации пылегазовых выбросов остро стоит на предприятиях по переработке зерна, где интенсивный выброс пыли в воздух рабочей зоны происходит практически на всех стадиях производственного процесса. В результате ухудшается качество окружающей среды, и создаются условия для возникновения взрывопожароопасных ситуаций. Поэтому актуальность усовершенствования конструкции циклонов-пылеуловителей очевидна.

Из практики центробежного пылеулавливания известно, что дисперсная фаза в общем случае находится в циклоне в трех состояниях (или если проводить разграничение по месту расположения и характеру движения – в трех потоках).

При высокой концентрации пыли в разделяемом двухфазном потоке, она собирается на внутренней поверхности циклона в так называемый «жгут» – первое состояние, представляющее собой поток с высокой плотностью частиц, движущийся спиралевидно по внутренней стенке циклона.

Однако теоретические и опытные данные свидетельствуют о том, что часть осажденных частиц перемещается вне «жгута» по своим отличающимся траекториям – второе состояние. Их движение неустойчиво и характеризуется сочетанием скольжения, качения и верчения.

Они перемещаются с отрывом от поверхности (среди прочих причин в силу возникновения эффекта Магнуса), могут образовывать циклические круговые течения в непосредственной близости от верхней крышки циклона.

Третье состояние – мелкодисперсные частицы, движущиеся в закрученном воздушном потоке. Эта часть дисперсной фазы может не достичь внутренней поверхности циклона из-за низкой скорости осаждения и будет унесена обратным газовым потоком.

На основе разграничения материальных потоков в циклоне сформулирована основная цель исследования – разработка конструкции циклона-пылеуловителя, обеспечивающего стабилизацию движения частиц второго потока и улавливание высокодисперсных частиц третьего потока.

В результате анализа современного состояния техники обеспыливания и целенаправленных технических исследований разработан циклон со вставкой в виде усеченного конуса, на поверхности которой имеются щелевые улавливающие отверстия (рисунок 1) [1].

Предлагаемый циклон работает следующим образом. Разделяемый двухфазный поток вводится в цилиндрический корпус циклона через входной патрубок. Основная часть дисперсной фазы достаточно быстро оседает на корпус и формирует жгут, имеющий свое начало в месте ввода в аппарат пылегазового потока. Некоторая часть осевших частиц, не попавших в жгут, движется по поверхности цилиндрического корпуса.

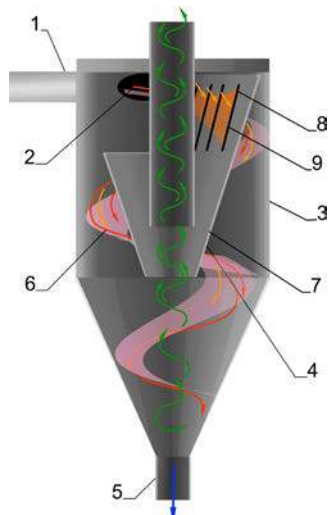


Рисунок 1 - Схема движения частиц в циклоне-пылеуловителе с конической вставкой:

1 – вход запыленного газа; 2 – вход патрубка в корпус циклона; 3 – корпус циклона; 4 – выхлопная труба; 5 – патрубок для удаления пыли; 6 – основное движение частиц – «жгут»; 7 – коническая вставка; 8 – щелевые отверстия; 9 – поток высокодисперсных частиц.

Нарушение жгута, имеющего свои собственные параметры движения, отличающиеся как от параметров воздушного потока, так и от параметров отдельных частиц, нежелательно и может повлечь за собой резкое снижение эффективности улавливания. Поэтому он беспрепятственно движется в пространстве между корпусом и вставкой. Осажденные частицы, движущиеся вне жгута, попадают на вставку. В силу низкой составляющей скорости движения в осевом направлении и отмеченной выше склонности данной части потока к образованию круговых течений, частицы могут уноситься воздушным потоком с поверхности вставки. Для предотвращения этого явления в верхней части вставки выполнены щелевые улавливающие отверстия, через которые осажденная пыль выводится в пространство между корпусом и вставкой. Достижимый при этом эффект сопоставим с наблюдаемым в циклоне Ван-Тонгерена.

Коническая форма вставки создает благоприятные условия для улавливания мелких частиц, составляющих третий поток. Они осаждаются в средней части конической вставки, а в нижней части могут быть унесены обратным восходящим газовым потоком. Для предотвращения уноса нижняя часть вставки снабжена еще одним рядом улавливающих отверстий. Частицы, отведенные через отверстия в пространство между корпусом и вставкой, не выносятся в выхлопную трубу. Тем самым увеличивается эффективность очистки.

Движение осажденной частицы по поверхностям циклона описывается дифференциальными уравнениями, устанавливающими зависимость ее кинематических параметров от физико-механических свойств среды, конструктивных параметров циклона и режимных характеристик его работы. Для конической поверхности уравнения записаны в сферической системе координат (r, θ, φ) :

$$N = m \sin \theta \left(g + r \dot{\varphi}^2 \cos \theta \right) + \eta u_{\theta} - \frac{1}{4} \pi \rho_{\text{в}} v_o^2 d^2, \quad (1)$$

$$\ddot{r} = -g \cos \theta - f \frac{N}{m} \frac{\dot{r}}{v} + \frac{\eta}{m} (u_r - \dot{r}) + r \dot{\varphi}^2 \sin^2 \theta, \quad (2)$$

$$\ddot{\varphi} = -f \frac{N}{m} \frac{\dot{\varphi}}{v} + \frac{\eta}{m} \left(\frac{u_{\varphi}}{r \sin \theta} - \dot{\varphi} \right) - \frac{2}{r} \dot{r} \dot{\varphi}, \quad (3)$$

где $v = \sqrt{\dot{r}^2 + (r \dot{\varphi} \sin \theta)^2}$ – абсолютная скорость частицы; $u_r, u_{\theta}, u_{\varphi}$ – проекции вектора скорости воздушного потока на оси;

$v_o = \sqrt{(u_r - \dot{r})^2 + u_{\theta}^2 + (u_{\varphi} - r \dot{\varphi} \sin \theta)^2}$ – скорость частицы по отношению к воздушному потоку; $\eta = 3\pi d \mu_a$; $\mu_{\text{в}}$ – динамическая вязкость воздуха; d – размер частицы пыли; m – масса частицы; g – ускорение силы тяжести; f – коэффициент трения скольжения частицы по поверхности циклона; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха.

Для изучения работы циклона-пылеуловителя предлагаемой конструкции изготовлен экспериментальный стенд, представленный на рисунке 2.

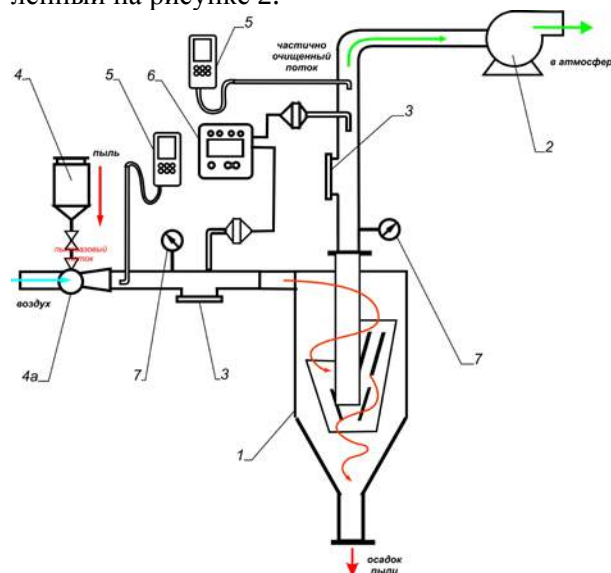


Рисунок 2 - Схема экспериментальной установки: 1- экспериментальный циклон [1]; 2- вентилятор; 3- место забора проб импактором; 4 и 4а- дозатор пыли; 5- термоанемометр; 6 – модуль для замера концентрации пыли; 7 – модуль для замера давления.

Экспериментальная установка включала разборную модель лабораторного циклона-пылеуловителя, которая позволяла испытывать ее как традиционный циклон, а также добавлять и менять вид конической вставки. Исследовался пылегазовый поток, содержащий пыль ржи дисперсностью от 5 мкм и ниже, взятую с отделения размолы мукомольного комбината. Пыль дозировалась с помощью дозатора 4. Измеряемыми параметрами были: скорость пылегазового потока, давление до и после циклона, концентрация пыли и фракционный состав пыли. Эффективность пылеулавливания определяли методом внешней фильтрации, а дисперсный состав с помощью импактора НИИОГАЗ.

На первом этапе экспериментальных исследований получено подтверждение наличия характерных потоков дисперсной фазы. На рисунке 3 представлен общий вид треков, оставленных пылегазовым потоком внутри обычного циклона (предварительно его внутренняя поверхность была продублирована бумагой, позволяющей сохранить картину движения частиц).

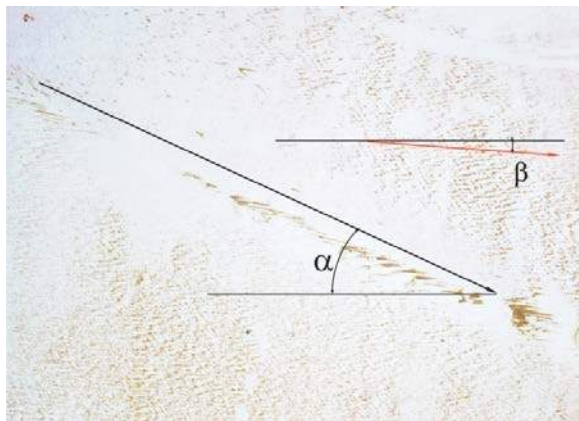


Рисунок 3 - Вид треков внутри циклона при следующих параметрах пылегазового потока: $v=18$ м/с, $c_n=65$ г/м³, $\bar{d}_m=5-10$ мкм

На развертке цилиндра четко прослеживается два вида движения осажденных частиц: под углом α движется «жгут», а под углом β — отдельные частицы пыли.

Далее исследовалось движение дисперсной смеси в циклоне со вставкой. В результате обработки пылегазового потока в течение 200 с со скоростью 10-20 м/с получен вид треков, представленный на рисунке 4.

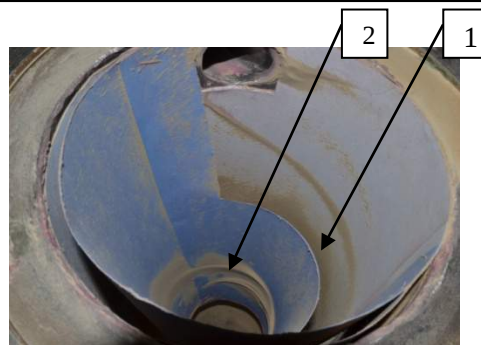


Рисунок 4 - Картина треков в экспериментальном циклоне-пылеуловителе с конической вставкой: 1 — жгут на внутренней поверхности корпуса; 2 — высокодисперсные частицы на внутренней поверхности конуса.

Из рисунка 4 видно, что на поверхности конуса улавливаются частицы третьего состояния движения.

Замеры и визуальные наблюдения работы циклона-пылеуловителя на разных скоростях позволили определить оптимальную скорость пылегазового потока и места расположения щелевых улавливающих отверстий. На представленных фотографиях (рисунок 5) отражен вид внутренней полости циклона при различной скорости дисперсного потока на входе в циклон.



а



б



В

Рисунок 5 - Вид внутренней полости циклона при различной скорости дисперсного потока на входе в циклон: а – 20 м/с; б – 16 м/с; в – 10 м/с.

При скорости 10 м/с пыль не удаляется в щелевые отверстия конической вставки, а это значит, что она будет захватываться обратно в поток и уноситься в выхлопную трубу. Поэтому оптимальной скоростью работы является скорость от 16 м/с и выше.

Целесообразность разработки и применения такой конструкции подтверждают зависимости, представленные на рисунках 6-7.

На рисунке 6 приведены интегральные кривые, полученные в результате измерений дисперсного состава импактором НИИОГАЗ. На рисунке 7 – зависимости эффективности и общего перепада давлений в зависимости от

скорости пылегазового потока на входе в циклон. Полученные результаты подтверждают эффективность использования циклона с конической вставкой и щелевыми отверстиями.

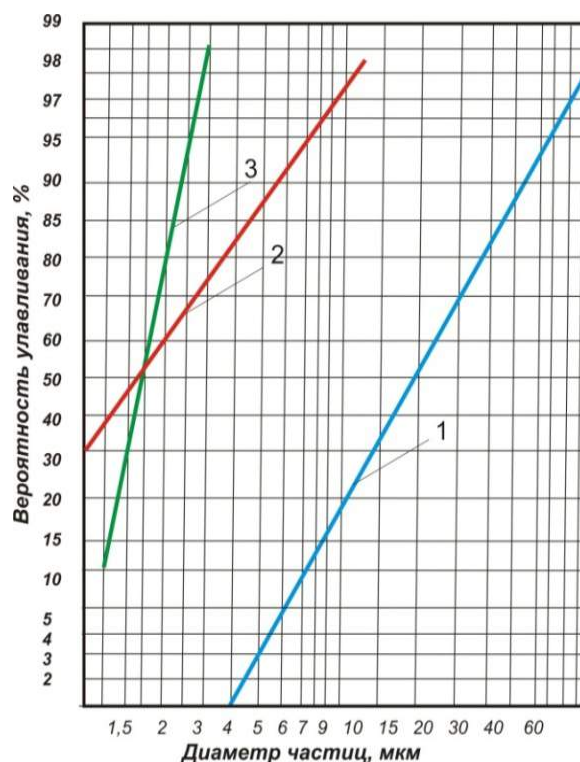
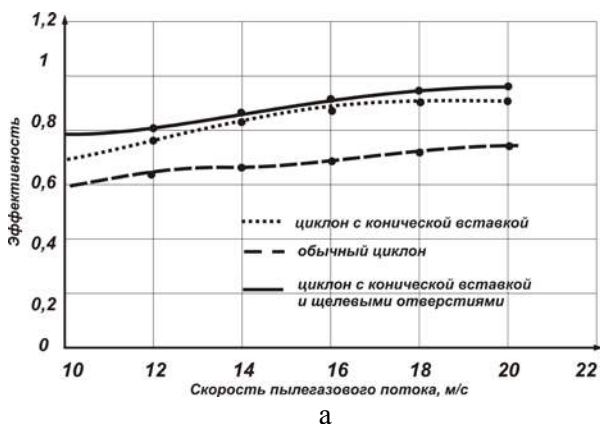
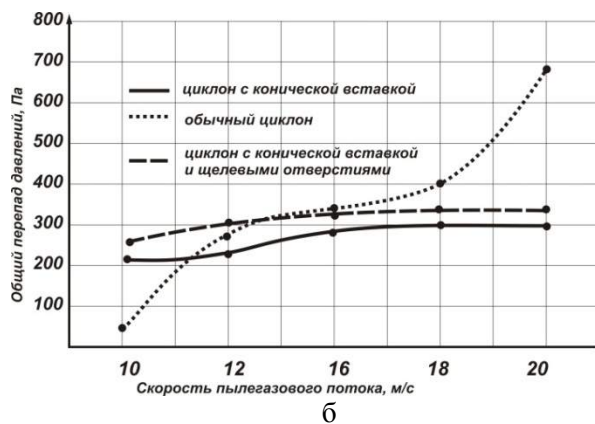


Рисунок 6 - Анализ дисперсного состава пыли: пыль ржи при $c_n=107 \text{ мг/м}^3$: 1 – до циклона; 2 – после циклона; 3 – после циклона с конической вставкой.



а



б

Рисунок 7 - Экспериментальные зависимости для пыли ржи при $c_n=114 \text{ мг/м}^3$, $\bar{d}_m=25 \text{ мкм}$, $\sigma=0,5$:

а – $\mathcal{E} = f(w)$, б – $\Delta P = f(w)$

Анализ работы предлагаемого циклона-пылеуловителя показал, что наиболее эффективно он работает на скоростях в диапазоне 16-20 м/с (скорости движения пылегазового потока в системах аспирации горизонтальных участков мукомольных цехов). При этом общая эффективность работы достигает значения 95 % при дисперсности улавливаемых

частиц начиная с 6 мкм и ниже. Полученные экспериментальные данные подтверждают целесообразность разработки и использования предложенной конструкции циклона-пылеуловителя с конической вставкой, а также доказывают правильность теоретических предположений о движении частиц различных потоков в полости циклона.

ЛИТЕРАТУРА

1 Заявка 2011134567 Российская Федерация, МПК В04С 5/107 (2006.01). Устройство для пылеулавливания [Текст] / А.М. Гавриленков, Д.В. Каргашилов, А.В. Некрасов; заявитель ГОУ ВПО ВГТА (РФ). – Заявл. 17.04.2011; Опубл. 27.02.2013; Бюл. № 6.

2 Машины и аппараты химических и нефтехимических производств Т. 4–12 [Текст] / М.Б. Генералов, В.П. Александров, В.В. Алексеев и др. – М., 2004. – 832 с.

REFERENCES

1 The patent demand 2011134567 of Russian Federation, МПК В04С 5/107 (2006.01). The device for dust-catching [Text] / A.M. Gavrilentkov, D.V. Kargashilov, A.V. Nekrasov; applicant VSTA (RF). - / Appl. 17.04.2011; Publ. 27.02.2013, Bul. № 6.

2 The Machines and apparatuses of chemical and petrochemical industries. V. 4-12 [Text] / M.B. Generalov, V.P. Alexandrov, V.V. Alexeev et al. – M., 2004. – 832 p.

Профессор В.Н. Василенко, аспирант М.В. Копылов,
аспирант И.В. Драган

(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра процессов и аппаратов химических и пищевых производств, тел. (473) 255-35-54

Доцент Л.Н. Фролова

(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра технологии хранения и переработки зерна, тел. (473) 255-65-11

Математическая модель движения сырья в шнековом канале маслопресса

Посредством математического моделирования было представлено движение масличного сырья в шнековом канале. Получены уравнения, позволяющие определить среднюю скорость движения в шнековом канале, а также найти давление в конце канала шнека перед зоной фильтрации.

By means of mathematical modeling the motion of oilseeds in the screw channel was presented. There are obtained equations that allow indicate the average speed in the screw channel, as well as find the pressure in end of screw channel in front of the filtering zone.

Ключевые слова: метод холодного отжима, масличные культуры, движение сырья в канале шнека.

Для сохранения всех ценных веществ в растительных маслах, полученных методом холодного прессования, необходимо правильно подобрать рациональные параметры для его извлечения.

Рассмотрим общую схему процесса получения масла (рисунок 1). Сырье через приемник 1 поступает в рабочее пространство шнекового пресса, где в области I происходит сжатие сырья с уплотнением мятки, что приводит к выделению масла, которое в области II фильтруется через разделительную перегородку 2 под действием разности давлений в рабочем пространстве и окружающей среде. Отработанный жмых удаляется через специальные каналы [2].

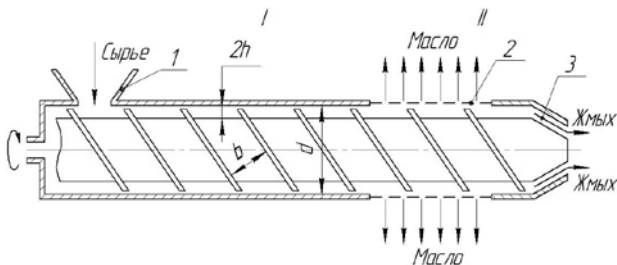


Рисунок 1 - Схема шнекового пресса

Таким образом, рабочую область можно разбить на две последовательные зоны. Задача области 1 состоит в максимальном увеличении

давления в сырье с ограничением температурного режима. Задача области 2 состоит в максимальном извлечении масла. Хотя в действительности винт червячного пресса вращается, картину течения легче представить, если наоборот, рассматривать вращающимся вокруг неподвижного шнека его наружный цилиндр (обечайку) [4].

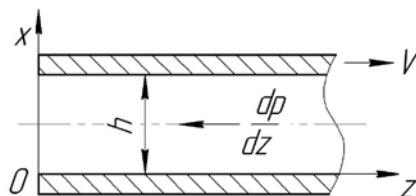


Рисунок 2 - Схема течения в шнековом канале

Если кривизна кольцевого канала невелика, то система эквивалентна течению между параллельными пластинами, одна из которых покоится, а другая движется со скоростью, равной величине продольной составляющей линейной скорости вращения на периферии цилиндра (рисунок 2). Скорость будет иметь направление, противоположное продольному предмету давления dp/dz .

В связи с этим необходимо определить профиль скорости на давление в конце области I, которые и будут являться исходными данными для анализа процесса фильтрации в области II.

Будем считать сырье в канале шнека несжимаемым, тогда выделив некий элементарный объем, сечение которого показано на рисунке 3, действие объемного давления на него будет сказываться в том, что мятка деформируется с выделением некоторого количества масла. В результате взятия производной значения давления в конце области I даст информацию о массовой концентрации масла в сырье.

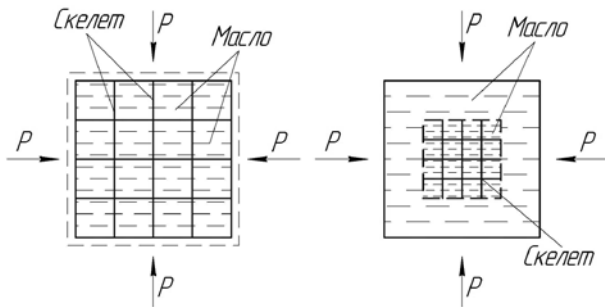


Рисунок 3 - Схема перераспределения масла в мятке

Эта информация должна быть достаточной для определения закономерностей фильтрации в области II, для которой возможно применение конвективно-диффузионных представлений для расчета кинетики трансформации поля концентрации.

Как показывает практика отжима, изменение температуры происходит на незначительную величину, то есть порядка 20 °С. Этот факт позволяет принять в области I режим изотермического течения. Учитывая, что скорости течения среды в канале шнека невысоки, течение можно считать ламинарным.

В основе построения математических моделей гидродинамики при ламинарном изотермическом течении различных сред лежат уравнения, вытекающие из законов сохранения вещества и количества движения [1]:

$$\rho \cdot \frac{D\bar{v}}{Dt} = -\nabla p - [\nabla \cdot \bar{\tau}] + \rho \bar{g}; \quad (1)$$

$$\frac{Dp}{Dt} = -\rho(\nabla \cdot \bar{v}); \quad (2)$$

$$\nabla^2 p = -\rho \nabla \cdot (\bar{v} \nabla \bar{v}) - \nabla \cdot [\nabla \cdot \bar{\tau}] \quad (3)$$

где ρ – плотность жидкости; $\bar{v}$ – вектор скорости; p – давление; $\bar{g}$ – вектор ускорения силы тяжести; $\bar{\tau}$ – тензор напряжений; $D/Dt = \partial/\partial t + (\bar{v} \nabla)$ – оператор субстанциональной; ∇ – градиент скалярного поля.

Уравнения (1) и (2) в компонентном виде для несжимаемой среды в декартовой системе координат таковы:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right) + \rho g_x; \quad (5)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \right) + \rho g_y; \quad (6)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \left(\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) + \rho g_z; \quad (7)$$

где t, x, y, z – текущее время и локальные декартовы координаты; v_x, v_y, v_z – компоненты вектора скорости $\bar{v}$; g_x, g_y, g_z – проекции вектора ускорения силы тяжести на оси декартовой системы координат; $\tau_{\alpha\beta}$ – компоненты тензора напряжений $\bar{\tau}$ ($\alpha = x, y, z, \beta = x, y, z$).

Так как рассматривается несжимаемая неньютоновская жидкость, для которой $\nabla \cdot \bar{v} = 0$, то в [3] постулировано соотношение, аналогичное ньютоновским жидкостям:

$$\bar{\tau} = \eta \cdot \Delta, \quad (8)$$

где Δ – тензор скоростей деформации, а вязкость η – является функцией состояния сдвига как величина, характеризующая или напряжением сдвига или скоростью сдвига. Так как вязкость есть скаляр, то она может быть функцией только скалярных инвариантов Δ :

$$I_1 = 2(\nabla \bar{v}); \quad I_2 = (\Delta : \Delta); \quad I_3 = \det \Delta.$$

Для несжимаемых жидкостей первый инвариант равен нулю. Следовательно, вязкость несжимаемых неньютоновских жидкостей зависит только от второго и третьего инвариантов. В прямолинейном одномерном и двумерном течениях третий инвариант равен нулю и полагают, что он не очень велик и для других типов течения. Следовательно, вязкость η является функцией только второго

инварианта Δ . Тогда степенной закон записывается в общем виде:

$$\eta = \eta^0 \left[\frac{(\Delta : \Delta)}{2} \right]^{(n-1)/2}, \quad (9)$$

где η^0 – вязкость при скорости сдвига, равной 1 с⁻¹.

Учитывая (8) и (9), а также компонентный вид для Δ , запишем:

$$\Delta_{ij} = \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i}, \quad (10)$$

где $i, j = \overline{1, 2, 3}$.

Если положить в (11) $x_1=x$, $x_2=y$, $x_3=z$, $v_1=v_x$, $v_2=v_y$, $v_3=v_z$, то реологический закон для степенной жидкости в компонентном виде таков:

$$\tau_{\alpha,\beta} = \eta \left[\frac{(\Delta : \Delta)}{2} \right]^{(n-1)/2} \left(\frac{\partial v_\alpha}{\partial \beta} + \frac{\partial v_\beta}{\partial \alpha} \right), \quad (11)$$

где

$$\frac{(\Delta : \Delta)}{2} = \left\{ 2 \left[\left(\frac{\partial v_x}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_y}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_z}{\partial z} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial v_y}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_z}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial x} \right)^2 \right\} / \dot{\gamma}_0^2 \quad (12)$$

где $\dot{\gamma}_0$ – скорость сдвига в приведенном состоянии, принимаемое $\dot{\gamma}_0 = 1$ с⁻¹.

Если ввести обозначение:

$$\varphi = \left[\frac{(\Delta : \Delta)}{2} \right]^{n-1}, \quad (13)$$

то компоненты тензора напряжений с учетом его симметрии таковы:

$$\tau_{xx} = 2\eta\varphi \frac{\partial v_x}{\partial x}; \quad \tau_{yx} = \tau_{xy} = \eta\varphi \left(\frac{\partial v_y}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial y} \right);$$

$$\tau_{yy} = 2\eta\varphi \frac{\partial v_y}{\partial y}; \quad \tau_{zx} = \tau_{xz} = \eta\varphi \left(\frac{\partial v_z}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial z} \right);$$

$$\tau_{zz} = 2\eta\varphi \frac{\partial v_z}{\partial z}; \quad \tau_{zy} = \tau_{yz} = \eta\varphi \left(\frac{\partial v_z}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial z} \right),$$

тогда итоговые уравнения будут:

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) = \\ = -\frac{\partial p}{\partial x} + \eta \left\{ 2 \frac{\partial}{\partial x} \left(\varphi \frac{\partial v_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[\varphi \left(\frac{\partial v_y}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) \right] + \right. \\ \left. + \frac{\partial}{\partial z} \left[\varphi \left(\frac{\partial v_z}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) \right] \right\} + \rho g_x; \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) = \\ = -\frac{\partial p}{\partial y} + \eta \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[\varphi \left(\frac{\partial v_y}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) \right] + \right. \end{aligned} \quad (15)$$

$$\left. + 2 \frac{\partial}{\partial y} \left(\varphi \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left[\varphi \left(\frac{\partial v_z}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) \right] \right\} + \rho g_y;$$

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = \\ = -\frac{\partial p}{\partial z} + \eta \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[\varphi \left(\frac{\partial v_z}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) \right] + \right. \end{aligned} \quad (16)$$

$$\left. + \frac{\partial}{\partial y} \left[\varphi \left(\frac{\partial v_z}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) \right] + 2 \frac{\partial}{\partial z} \left(\varphi \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) \right\} + \rho g_z;$$

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0. \quad (17)$$

Для плохого случая остаются только координаты x, z и компоненты скорости v_x, v_z . Полагая действие внешних объемных сил несущественным ($g_x = g_y = g_z = 0$), из (14) – (17) следует система:

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \\ + \eta \left\{ 2 \frac{\partial}{\partial x} \left(\varphi \frac{\partial v_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left[\varphi \left(\frac{\partial v_z}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) \right] \right\}; \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = \\ = -\frac{\partial p}{\partial z} + \eta \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[\varphi \left(\frac{\partial v_z}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) \right] + 2 \frac{\partial}{\partial z} \left(\varphi \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) \right\}; \end{aligned} \quad (19)$$

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0, \quad (20)$$

где

$$\varphi = \left\{ \left[2 \left[\left(\frac{\partial v_x}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_z}{\partial z} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial v_z}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial z} \right)^2 \right] \right\}^{n-1} / \dot{\gamma}_0^2 \quad (21)$$

Продифференцируем (19) по x :

$$\begin{aligned} \rho \left[\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial v_x}{\partial t} \right) + \frac{\partial v_x}{\partial x} \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_x \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial v_z}{\partial x} \frac{\partial v_x}{\partial z} + v_z \frac{\partial^2 v_x}{\partial x \partial z} \right] = \\ = -\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \eta \left\{ 2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\varphi \frac{\partial v_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial^2}{\partial x \partial z} \left[\varphi \left(\frac{\partial v_z}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) \right] \right\}, \end{aligned} \quad (22)$$

а (20) по z :

$$\begin{aligned} \rho \left[\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} \right) + \frac{\partial v_x}{\partial z} \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_x \frac{\partial^2 v_z}{\partial z \partial x} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \frac{\partial v_z}{\partial z} + v_z \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right] = \\ = -\frac{\partial^2 p}{\partial z^2} + \eta \left\{ \frac{\partial^2}{\partial z \partial x} \left[\varphi \left(\frac{\partial v_z}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) \right] + 2 \frac{\partial^2}{\partial z^2} \left(\varphi \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) \right\} \end{aligned} \quad (23)$$

Сложим (23) и (24), имея в виду (21):

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = -\rho \left[\left(\frac{\partial v_x}{\partial x} \right)^2 + 2 \frac{\partial v_z}{\partial x} \frac{\partial v_x}{\partial z} + \left(\frac{\partial v_z}{\partial z} \right)^2 \right] + \quad (24)$$

$$+ \eta \left\{ 2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\varphi \frac{\partial v_x}{\partial x} \right) + 2 \frac{\partial^2}{\partial z \partial x} \left[\varphi \left(\frac{\partial v_z}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) \right] + 2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\varphi \frac{\partial v_z}{\partial x} \right) \right\}$$

В силу того, что рассматривается ламинарное течение среды, то приближенно можно положить однонаправленность движения на всем протяжении шнекового канала. Это дает $v_x = 0$, а из уравнения неразрывности следует, что $\frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$, т.е. $v_z = v_z(x, t)$. Функция φ существенно упрощается до вида:

$$\varphi = \left| \frac{1}{\dot{\gamma}_0} \frac{\partial v_z}{\partial x} \right|^{n-1},$$

уравнение (18) вырождается в:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0,$$

а уравнение (19) трансформируется в:

$$\rho \frac{\partial v_z}{\partial t} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \eta \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial v_z}{\partial x} \left| \frac{1}{\dot{\gamma}_0} \frac{\partial v_z}{\partial x} \right|^{n-1} \right). \quad (25)$$

В дальнейшем будем рассматривать непрерывный процесс отжима, т.е. $\frac{\partial v_z}{\partial t} = 0$, тогда (25) запишется:

$$\eta \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial v_z}{\partial x} \left| \frac{1}{\dot{\gamma}_0} \frac{\partial v_z}{\partial x} \right|^{n-1} \right) = \frac{dp}{dz} \quad (26)$$

с граничными условиями:

$$v_z(h) = v_0; \quad v_z(0) = 0. \quad (27)$$

Запишем (26), (27) в безразмерном виде:

$$\frac{d}{dX} \left(\frac{dV}{dX} \left| \frac{dV}{dX} \right|^{n-1} \right) = \frac{dP}{dZ}; \quad (28)$$

$$V(1) = V_0; \quad V(0) = 0; \quad (29)$$

где $X = x/h$; $Z = z/h$; $\bar{V} = v/\bar{v}$; $P = p/\bar{p}$; $\bar{v} = \dot{\gamma}_0 h$; $\bar{p} = \eta \dot{\gamma}_0$; $V_0 = v_0/\bar{v}$.

Пусть при $X = X^*$ максимум скорости, тогда система (28), (29) представляется в виде:

$$\frac{d}{dX} \left(\frac{dV_1}{dX} \left| \frac{dV_1}{dX} \right|^{n-1} \right) = \frac{dP}{dZ}; \quad (30)$$

$$\frac{d}{dX} \left(\frac{dV_2}{dX} \left| \frac{dV_2}{dX} \right|^{n-1} \right) = \frac{dP}{dZ}; \quad (31)$$

$$V_1(0) = \frac{dV_1(X^*)}{dX} = 0; \quad (32)$$

$$\frac{dV_2(X^*)}{dX} = 0, \quad V_2(1) = V_0 \quad (33)$$

$$V_1(X^*) = V_2(X^*). \quad (34)$$

Учитывая, что прессование $\frac{dP}{dZ} > 0$, то решение системы (30)–(34) проведем последовательно.

Однократное интегрирование (30) и (31) дает:

$$\left(\frac{dV_1}{dX} \right)^n = \frac{dP}{dZ} X + C_1; \quad \left(\frac{dV_2}{dX} \right)^n = \frac{dP}{dZ} X + C_2. \quad (35)$$

Из (3.33) и (3.34) следует, что:

$$C_1 = C_2 = -\frac{dP}{dZ} X^*. \quad (36)$$

Проводя повторное интегрирование (35), получим:

$$V_1(X) = V_2(X) = \frac{n}{1+n} \left(\frac{dP}{dZ} \right)^{\frac{1}{n}} (X - X^*)^{\frac{1+n}{n}} + C_{1,2}. \quad (37)$$

где

$$C_1 = \frac{n}{1+n} \left(\frac{dP}{dZ} \right)^{\frac{1}{n}} X^{*\frac{1+n}{n}} \quad (38)$$

$$C_2 = V_0 - \frac{n}{1+n} \left(\frac{dP}{dZ} \right)^{\frac{1}{n}} (1 - X^*)^{\frac{1+n}{n}}. \quad (39)$$

Из условия (35) найдем уравнение для определения X^* :

$$(1 - X^*)^{\frac{1+n}{n}} - X^{*\frac{1+n}{n}} = V_0 / \left[\frac{n}{1+n} \left(\frac{dP}{dZ} \right)^{\frac{1}{n}} \right]. \quad (40)$$

Таким образом, решение задачи (28), (29) имеет следующий вид:

$$V(X) = \begin{cases} \frac{n}{1+n} \left(\frac{dP}{dZ} \right)^{\frac{1}{n}} \left[(X - X^*)^{\frac{1+n}{n}} - X^{*\frac{1+n}{n}} \right], & \text{при } 0 \leq X \leq X^*; \\ V_0 + \frac{n}{1+n} \left(\frac{dP}{dZ} \right)^{\frac{1}{n}} \left[(X - X^*)^{\frac{1+n}{n}} - (1 - X^*)^{\frac{1+n}{n}} \right], & \text{при } X^* \leq X \leq 1 \end{cases} \quad (41)$$

Найдем среднюю скорость движения в шнековом канале как:

$$\bar{V} = \int_0^{X^*} V_1(X) dX + \int_{X^*}^1 V_2(X) dX =$$

$$= V_0(1 - X^*) - \frac{n}{1+2n} \left(\frac{dP}{dZ} \right)^{\frac{1}{n}} X^{*\frac{1+2n}{n}} +$$

$$+ \frac{n}{1+n} \left(\frac{dP}{dZ} \right)^{\frac{1}{n}} (1 - X^*)^{\frac{1+n}{n}} \left[\frac{1+3n}{1+2n} (1 - X^*) - 1 \right]. \quad (42)$$

Итак, уравнения (40) и (42) образуют систему для определения dP/dZ и X^* , после нахождения которых, можно найти давление в конце канала шнека перед зоной фильтрации:

$$P = P(0) + C_p Z,$$

где $P(0)$ – безразмерное давление на входе в шнековый канал, $C_p = \frac{dP}{dZ}$.

Решение системы (40)-(42) проведено численно (рисунок 4), получено:

$$X^* = 0,4085; dP / dZ = 12,592.$$

Считая, что безразмерным атмосферным давлением $P(0)$ можно пренебречь, получим:

$$P = C_p \cdot Z,$$

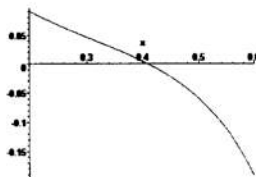
где $C_p = dP / dZ$, тогда:

$$P = p / (\eta \dot{\gamma}_0),$$

откуда:

$$p = \eta \dot{\gamma}_0 C_p XZ = 0,0343 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 12,592 \cdot 2,386 = 1030526 \text{ Па} = 1,03 \text{ МПа}$$

```
> restart;
> n:=0.28: V0:=137.4: V1:=10.85:
> a:=(1-x)^( (1+n)/n)-x^( (1+n)/n)-V0/(n/(n+1))*
  ((2*n+1)/n*(V0*(1-x)+ V1)/((1-x)^(
  ((2*n+1)/n)+x^( (1+2*n)/n)))=0:
> plot( (1-x)^( (1+n)/n)-x^( (1+n)/n)-V0/(n/(n+1))*
  ((2*n+1)/n*(V0*(1-x)+ V1)/((1-x)^(
  ((2*n+1)/n)+x^( (1+2*n)/n))) , x=0..0.6);
```



```
> z:=fsolve(a,x=0..1);
z:=.4084946602
> Y:=((2*n+1)/n*(V0*(1-z)+ V1)/((1-z)^(
  ((2*n+1)/n)+z^( (1+2*n)/n)))^n;
Y:= 12.59170616
```

Рисунок 4 - Листинг программы в среде MAPLE

Таким образом, в ходе математического моделирования были получены зависимости, которые легли в основу создания системы автоматизированного проектирования САПР «Маслопресс», позволяющей проводить расчет конструктивных параметров основных узлов прессующего оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1 Берд, Р. Явления переноса [Текст] / Р. Берд, В. Стьюарт, Е. Лайтфут. – М.: Химия, 1974. – 688 с.

2 Карташов, Л.П. Параметрический и структурный синтез технологических объектов на основе системного подхода и математического моделирования [Текст] / Л.П. Карташов, Т.М. Зубкова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – 225 с.

3 Василенко, В.Н. Исследование кинетических закономерностей процесса извлечения растительных масел в шнековом маслопрессе [Текст] / В.Н. Василенко, М.В. Копылов // Вестник ВГУИТ. - 2012. – № 1. – С. 10-12.

4 Василенко, В.Н. Создание ресурсосберегающей технологии комплексной переработки масличного и зернового сырья [Текст] / В.Н. Василенко, Е.А. Татаренков, М.В. Копылов и др. // Материалы международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований 2010». – 2010. - Т. 5. – С. 5-7.

REFERENCES

1 Berd, R. Transport phenomena [Text] / R. Berd, V. Stewart, E. Lightfoot. – M.: Himiya, 1974. – 688 p.

2 Kartashov, L.P. Parametric and structural synthesis process facilities on the basis of a systematic approach and mathematical modeling [Text] / L.P. Kartashov, T.M. Zubkov. – Ekaterinburg: Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 2009. – 225 p.

3 Vasilenko, V.N. The study of the kinetic regularities of extraction of vegetable oils in the screw oil press [Text] / V.N. Vasilenko, M.V. Kopylov // Bulletin of VSUET. - 2012. – № 1. – P. 10-12.

4 Vasilenko, V.N. Creating a resource-saving technologies for complex processing of personal and mass-grain material [Text] / V.N. Vasilenko, E.A. Tatarenkov, M.V. Kopylov et al // International scientific-practical conference "Modern trends in theoretical and applied research in 2010.". – 2010. - V. 5. - P. 5-7.

УДК 664.663.12

Профессор Л.И. Лыткина, соискатель А.И. Клейменов

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра технологии хранения и переработки зерна, тел. (473)255-65-11

Профессор Д.С. Сайко

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра высшей математики, тел. (473)255-35-54

Старший научный сотрудник С.А. Шевцов

(Воронежский институт ГПС МЧС России)

Решение задачи распределения температурных полей в процессе сушки зерна гречихи перегретым паром

Составлена математическая модель распределения температурных полей в процессе энергосберегающей сушки зерна гречихи перегретым паром. Предложенный вариант решения может быть использован для исследования процессов теплопереноса в объектах с треугольной симметрией.

The mathematical model of distribution of the temperature fields during the process of saving drying of buckwheat grain with the superheated steam has been found. The given solution may be used to investigate the process of heat transfer in the objects with triangular symmetry.

Ключевые слова: зерно гречихи, перегретый пар, математическая модель, треугольная симметрия, температурные поля.

В последнее время в технологии сушки пищевого растительного сырья широкое распространение получило использование высокотемпературных инертных теплоносителей, в частности перегретого пара [1, 2]. Это обусловлено тем, что перегретый пар обладает существенными преимуществами перед другими теплоносителями, используемыми при термической обработке.

Разработан новый способ влаготепловой обработки зерна гречихи, целью которого является повышение энергетической эффективности влаготепловой обработки зерна путем разработки экологически чистой, ресурсосберегающей технологии. Предлагаемая технология включает пропаривание, предварительный подогрев зерна, сушку перегретым паром, охлаждение и теплонасосную установку для подготовки воздуха [3].

В процессе сушки форма зерна гречихи играет определяющую роль, поэтому важно решить задачу распределения температурных полей в процессе сушки зерна с формой треугольной симметрии.

В работах [1, 2] приводится решение задачи теплопроводности капиллярно-пористых материалов в условиях изотропного нагрева и испарения влаги во внешней газообразной среде.

Стандартные предположения состоят в том, что частица имеет форму: либо сферическую, либо цилиндрическую, либо эллипсоидальную. Зерно гречихи обычно имеет, преимущественно, трехгранную форму. Грани хорошо выражены, гладкие, плоские.

На рисунке 1 представлен вид необработанных зерен гречихи для того, чтобы убедиться, что предложенные модели весьма далеки от реальной геометрии объекта. Как предполагают авторы, учет треугольной симметрии зерна является важным моментом исследования процессов теплопереноса в реальном материале.



Рисунок 1 - Нешелушеное зерно гречихи

$$\frac{\partial t(\vec{r}, \tau)}{\partial \tau} = a \Delta t(\vec{r}, \tau), \quad \tau \geq 0, \vec{r} \in \Omega; \quad (1)$$

$$t(\vec{r}, 0) = t_0; \quad (2)$$

$$\nabla t(0, \tau) = 0, \quad |t(0, \tau)| < \infty; \quad (3)$$

$$\alpha(t_c - t(\vec{r}, \tau)) = \frac{\lambda}{R} \frac{\partial t(\vec{r}, \tau)}{\partial n} + \beta \Delta P r^*, \quad \vec{r} \in \partial \Omega. \quad (4)$$

Здесь t, t_c - температуры соответственно твердой частицы и сушильного агента, a - коэффициент температуропроводности частицы, λ - коэффициент теплопроводности, α - коэффициент теплоотдачи, β - коэффициент массоотдачи, ΔP - разность парциальных давлений пара над поверхностью частицы и в газе, r^* - удельная теплота испарения, производная вычисляется по направлению внешней нормали к границе зерна, $\vec{n}$ - единичный вектор нормали к поверхности зерна. Если зерно вписано в цилиндр, то R - его радиус, h - высота.

Введем новую безразмерную переменную:

$$\Theta = \frac{t(\vec{r}, \tau) - t_c}{t_c - t_0} + N, \quad (5)$$

где параметр:

$$N = \frac{\beta \Delta P r^*}{\alpha(t_c - t_0)}. \quad (6)$$

Число N есть безразмерная характеристика теплового потока, затрачиваемого на испарение влаги. Задача (1) - (4) примет вид:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 \Theta}{\partial \vec{r}^2}; \quad (7)$$

$$\Theta(\vec{r}, 0) = N - 1, \quad \nabla \Theta(0, \tau) = 0; \quad (8)$$

$$\frac{\lambda}{\alpha R} \frac{\partial \Theta}{\partial n} + \Theta = 0, \quad \vec{r} \in \partial \Omega. \quad (9)$$

Далее будем обозначать

$$Bi = \frac{\alpha R}{\lambda} \quad (\text{число Био}) \quad (10)$$

Рассмотрим форму зерна в виде правильной треугольной призмы. Задача о равновесии треугольного стержня рассматривалась ранее [4]. Однако приведенное решение не может быть применено непосредственно к рассматриваемой задаче, поскольку относится к решению уравнения Лапласа, а не Гельмгольца в соответствующей области. Решения с ненулевыми граничными условиями даны в работах [5, 6], в которых задача исследуется с использованием различных разделов теории групп. Однако оба предложенных исследова-

ния скорее обозначают серьезность проблемы, чем предлагают реалистичные подходы к решению поставленной задачи. В первой, в частности, предлагается решение уравнения Гельмгольца (Пуассона) с помощью финитного преобразования Фурье [5]. Решение получено в случае произвольного треугольника для комбинации граничных условий Дирихле и Неймана. Тогда как в настоящей статье граничные условия относятся к третьему типу (задача Робена). Групповой анализ, проведенный в работе [6], полезен только как информация об инвариантах преобразования группы симметрии C_3 - абелевой группы с осью третьего порядка. Приведенные в статье варианты записи граничных условий не могут быть прокомментированы.

Для последовательного решения удобно ввести подходящую систему координат, отвечающую симметрии задачи. На рисунке 2 показана такая система координат в плоскости, перпендикулярной оси симметрии.

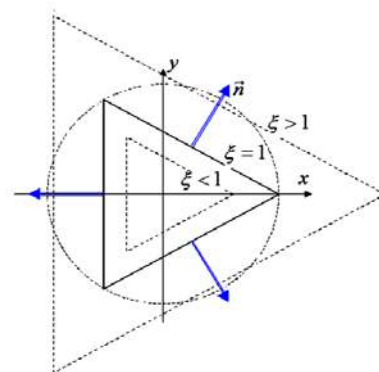


Рисунок 2 - Вид треугольной системы координат: координата η отсчитывается по периметру треугольника. Приведены безразмерные координаты ($R = 1$).

Пусть заданы функции:

$$f(x, y, \xi) = (2x + \xi)((x - \xi)^2 - 3y^2), \quad (10)$$

$$g(x, y, \eta) = (2y - \eta)((y - \eta)^2 - 3x^2) \quad (11)$$

Переменные ξ, η задаются уравнениями:

$$f(x, y, \xi) = 0, \quad g(x, y, \eta) = 0$$

При такой записи новых координат постоянные значения переменной ξ задают равносторонние треугольники, переменная η отвечает изменению координаты точки по периметру треугольника (на рисунке не показана). Непосредственными вычислениями

нетрудно убедиться, что метрический тензор для такого преобразования имеет вид:

$$\begin{aligned} g_{11} &= \left(\frac{\partial x}{\partial \xi} \right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \xi} \right)^2 = \frac{1}{4}, \\ g_{22} &= \left(\frac{\partial x}{\partial \eta} \right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \eta} \right)^2 = \frac{1}{4}, \\ g_{12} &= \frac{\partial x}{\partial \xi} \frac{\partial x}{\partial \eta} + \frac{\partial y}{\partial \xi} \frac{\partial y}{\partial \eta} = 0, \quad g = \frac{1}{16} \end{aligned} \quad (12)$$

Следовательно, предложенная система координат является ортогональной. Дифференциальные операторы в новой системе преобразуются по следующим формулам:

$$\Delta = \nabla^2 = 4 \left(\frac{\partial^2}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2}{\partial \eta^2} \right), \quad \frac{\partial}{\partial n} = 2R \frac{\partial}{\partial \xi}.$$

$$\nabla = \left[\frac{\partial}{\partial x}; \frac{\partial}{\partial y} \right] \rightarrow \left[\frac{1}{\sqrt{g_{11}}} \frac{\partial}{\partial \xi}; \frac{1}{\sqrt{g_{22}}} \frac{\partial}{\partial \eta} \right] = 2 \left[\frac{\partial}{\partial \xi}; \frac{\partial}{\partial \eta} \right]$$

В новых координатах задача (7) - (9) примет вид:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \tau} = a \left(4 \frac{\partial^2 \Theta}{\partial \xi^2} + 4 \frac{\partial^2 \Theta}{\partial \eta^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial z^2} \right); \quad (13)$$

$$\Theta(\xi, \eta, z, 0) = N - 1; \quad (14)$$

$$\frac{\partial \Theta(0, 0, z, \tau)}{\partial \xi} = \frac{\partial \Theta(0, 0, z, \tau)}{\partial \eta} = 0; \quad (15)$$

$$\left(2R \frac{\partial \Theta}{\partial \xi} + Bi_z \Theta \right)_{\xi=R} = 0. \quad (16)$$

$$\left(-h \frac{\partial \Theta}{\partial z} + Bi_z \Theta \right)_{z=0} = \left(h \frac{\partial \Theta}{\partial z} + Bi_z \Theta \right)_{z=h} = 0. \quad (17)$$

В постановке задачи предполагается, что

$$0 \leq \xi \leq R, \quad 0 \leq z \leq h, \quad Bi_z = \frac{\alpha h}{\lambda}$$

По симметрии задачи температура не зависит от параметра η . Поэтому задача сводится к задаче нагрева (охлаждения) прямоугольной области. Для решения такой задачи применим стандартный способ разделения переменных:

$$\Theta(z, \xi, \tau) = Z(z) X(\xi) T(\tau).$$

После подстановки:

$$\frac{T'}{T} = a \left(4 \frac{X''}{X} + \frac{Z''}{Z} \right)$$

получим задачу Штурма-Лиувилля

$$X'' = -\frac{v^2}{R^2} X, \quad (2RX' + Bi_z X)_{\xi=R} = 0 \quad (18)$$

$$\text{и ее решение } X_v(\xi) = \cos\left(\frac{v\xi}{R}\right),$$

при условии на собственные значения:

$$2v \operatorname{tg} v - Bi_z = 0 \quad (19)$$

Аналогичное рассмотрение по переменной z приводит к уравнениям:

$$\begin{aligned} Z'' &= -\frac{\mu^2}{h^2} Z, \quad (-hZ' + Bi_z Z)_{z=0} = 0, \\ (hZ' + Bi_z Z)_{z=h} &= 0 \end{aligned}$$

Собственные функции этой задачи:

$$Z_\mu(z) = \mu \cos\left(\frac{\mu z}{h}\right) + Bi_z \sin\left(\frac{\mu z}{h}\right)$$

отвечают собственным значениям:

$$(\mu^2 - Bi_z^2) \operatorname{tg} \mu - 2Bi_z \mu = 0 \quad (20)$$

Тогда уравнение по времени имеет вид:

$$T' = -a \left(4 \frac{v^2}{R^2} + \frac{\mu^2}{h^2} \right) T$$

Его решение:

$$T_{\mu v}(\tau) = \exp \left(-a \left(4 \frac{v^2}{R^2} + \frac{\mu^2}{h^2} \right) \tau \right)$$

Полное решение задачи записывается в виде стандартной суммы:

$$\Theta = \sum_v \sum_\mu A_{\mu v} T_{\mu v}(\tau) X_v(\xi) Z_\mu(z), \quad (21)$$

где коэффициенты определяются из начальных условий:

$$A_{\mu v} = \frac{1}{\|X_v Z_\mu\|^2} \iint_{\Omega} \Theta(\xi, z, 0) X_v(\xi) Z_\mu(z) d\xi dz$$

Окончательно:

$$A_{\mu v} = (N-1) \frac{4Bi_z Bi_z \cos v \left(\mu^2 - Bi_z^2 + (\mu^2 + Bi_z^2) \cos \mu \right)}{(2v^2 + Bi_z \cos^2 v) \mu \left((\mu^2 + Bi_z^2)^2 - (Bi_z + 1)^2 Bi_z^2 \right)} \quad (22)$$

Формулы (21) и (22) с учетом вида собственных функций и уравнений на спектр собственных значений (19) и (20) являются решением поставленной задачи.

На последующих рисунках 3 - 5 для значений параметров $N = 0, Bi_z = 4, Bi = 3, h = 4/3, R = 1, a = 1$ и указанных моментов времени приведены графики решений для сумм первых 20 слагаемых по переменной ξ и 30 слагаемых по переменной z .

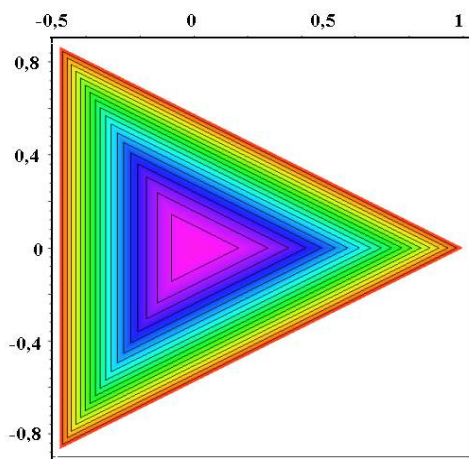


Рисунок 3 - Вид решения в декартовых координатах при $\tau = 0.1$. Выбрано значение $z = 0,5h$.

На рисунке 4 приведены зависимости решения от времени при различных значениях ξ . На рисунке 5 показан суммарный поток тепла через боковую стенку бесконечной призмы $Q(\tau) = Bi \cdot p \cdot h \int_0^\tau \Theta(1, 0, t) dt$, где p - периметр треугольника.

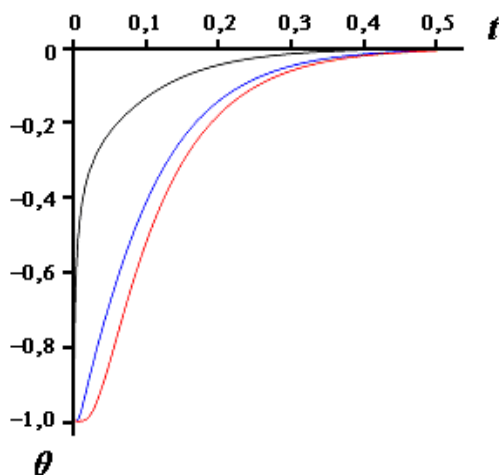


Рисунок 4 - Кривые зависимости температуры (21) от времени при $\xi = \{0, 0.5, 1\}$

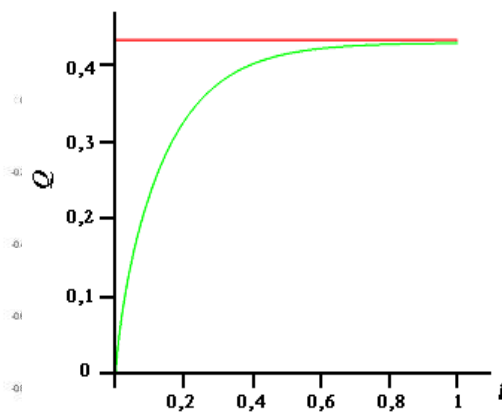


Рисунок 5 - Полный приток тепла через боковые стенки как функция времени

Для сравнения было рассмотрено точное решение первой смешанной краевой задачи, полученное путем конформного отображения круга на треугольник [7]. К сожалению, граничные условия третьего рода при таком отображении приводят при корректном рассмотрении к не менее сложной задаче.

Отображение задается гипергеометрической функцией:

$$f(z) = \frac{1}{-1.529 + 2.650i} \left(z F\left(\frac{1}{3}, \frac{2}{3}; \frac{4}{3}, z^3\right) - 1.767 \right) \quad (23)$$

Решение на круге записывается стандартным рядом Дини (например, [1]):

$$\Theta = (N-1) \sum_{\mu} \exp\left(-at \frac{\mu^2}{R^2}\right) \frac{2J_0\left(\frac{\mu r}{R}\right)}{\mu J_1(\mu)} \quad (24)$$

по нулям уравнения $J_0(\mu) = 0$.

На рисунке 6 показаны результаты вычислений зависимости безразмерной температуры для сечения вдоль координаты x , показанного на рисунке справа, указанных моментов времени и значений параметров.

Представлены (для соответствующих моментов времени): кривые 1, 3, 5 – для решения (21); кривые 6, 2, 5 – для решения (24); кривые 1, 4, 5. – для численного решения методом конечных элементов.

Поскольку в начальный ($t=0$) и конечный ($t=1$) моменты времени некоторые кривые визуально не отличаются, для них не вводились отдельные обозначения.

Приведенные результаты, на взгляд авторов, однозначно свидетельствуют в пользу того, что простое решение (21) при достаточно больших числах Био может служить

для оценки распределения температур по времени и по сечению зерна.

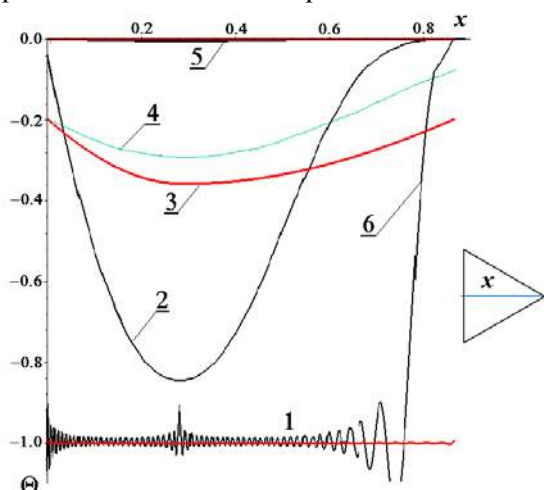


Рисунок 6 - Сравнение результатов вычислений при значениях параметров $N = 0$, $a = 1$, $R = (1/\sqrt{3})Bi = 3$ в моменты времени $t = \{0, 0.1, 1\}$.

Сравнение полученных результатов с известными решениями [5] для треугольной области не представляется возможным, поскольку в работе рассмотрен другой вариант постановки граничных условий и отсутствуют окончательные выражения для решений в треугольнике. Вариант решения задачи, предложенный в статье [8] представляется авторам неудовлетворительным, поскольку приведенные в работе соотношения ортогональности (формула 2.11) для базиса (формула 2.10) гильбертова пространства функций заданных на правильном треугольнике не выполняются. Соответственно, построенные решения неверны.

В результате обсуждения решения, можно сделать следующие ниже выводы.

1. Приведенное решение является не вполне корректным. Очевидно, что в вершинах треугольника имеет место сингулярность, которая скажется на решении. Основной проблемой здесь является преобразование потоков при обходе контура треугольника. Несложно заметить, что для функции, определенной на треугольнике, обязательным условием будет цикличность и четность по параметру η на интервале $\eta \in (-\sqrt{3}\xi; \sqrt{3}\xi)$. При переходе через вершину треугольника координаты произвольного вектора $\vec{v}$ меняются по правилу $\vec{v}(\eta = \sqrt{3}\xi) = U\left(\frac{2\pi}{3}\right)\vec{v}(\eta = -\sqrt{3}\xi)$, где $U(\alpha)$ - матрица поворота на угол α . С учетом этих замечаний, можно записать условия на преоб-

разование координат векторов в окрестности особой точки:

$$\begin{cases} v_{\eta}(\eta = \sqrt{3}\xi) = \frac{1}{\sqrt{3}}(2v_{\xi}(\eta = \sqrt{3}\xi) - v_{\xi}(\eta = -\sqrt{3}\xi)); \\ v_{\xi}(\eta = -\sqrt{3}\xi) = -\frac{1}{\sqrt{3}}(v_{\xi}(\eta = \sqrt{3}\xi) + 2v_{\eta}(\eta = -\sqrt{3}\xi)) \end{cases} \quad (25)$$

Поскольку границы в уравнении (22) зависят от параметра ξ , последовательный учет преобразования градиента при переходе через граничные точки усложняет решение исходной задачи.

2. Решение задачи на собственные значения (18) по существу отвечает решению уравнения Гельмгольца в полярных координатах для сектора, ограниченного прямой линией. Такое решение хорошо известно в общем случае. Для поставленной задачи оно имеет вид $\exp(Bi r \cos(\varphi - \alpha))$, где (r, φ) - полярные координаты, α - угол наклона вектора нормали к прямой. Таким образом, предложенное решение несложно записать в полярных координатах.

3. Решение задачи опирается на представление о сильной анизотропии пространства (в области треугольника): распространение тепла происходит только по направлению оси ξ , тогда как по оси η перенос тепла фактически маловероятен.

Предложенный вариант оценки решения задачи для треугольной области выполняется при условии, когда скорость отвода тепла от границы достаточно велика для того, чтобы температура на границе выравнивалась.

Предложенный вариант приближенного решения может быть использован в качестве математической модели для исследования объектов с треугольной симметрией. По оценкам авторов, вычисление полного расхода тепла в треугольной области для предложенного решения приводит к промежуточным значениям по отношению к точным решениям в случае задания на границах треугольника условий Дирихле и Робена. Относительная простота метода и явное использование симметрии задачи моделирования также составляют его достоинство. Метод может быть распространен на случай решения трехмерных задач.

Таким образом, предложена математическая модель, аналитическое решение которой позволяет прогнозировать распределение температурных полей в процессе сушки зерна гречихи перегретым паром.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Лыков, А.В. Тепломассообмен [Текст]: справочник / А.В. Лыков. - М.: Энергия, 1978. - 480 с.
- 2 Лыков, А.В. Теория теплопроводности [Текст] / А.В. Лыков. - М.: Высшая школа, 1967. - 600 с.
- 3 Патент 2456815 РФ, МПК⁷ А 23 L. Способ влаготепловой обработки зерна гречихи [Текст] / А.А. Шевцов, Л.И. Лыткина, Д.А. Бритиков. - № 2011106689/13; Заявл. 22.02.2011; Опубл. 27.07.2012; Бюл. № 21.
- 4 Ландау, Л.Д. . Теоретическая физика. Т. VII. Теория упругости [Текст]: учебное пособие / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. - М.: Наука. - 248 с.
- 5 Kobayashi, K. Solution of two-dimensional neutron diffusion equation for triangular region by finite Fourier transformation [Text] / K. Kobayashi, H. Ishibashi // Journal of nuclear science and technology. - 1978. - №15(1). - P. 1-9.
- 6 Boutros, Y.Z. Group method analysis of the potential equation in triangular regions [Text] Y.Z. Boutros, M.B. Abd-el-Malek, I.A. El-Awadi et al // Symmetry in nonlinear mathematical physics. - 1997. - №2 - P.418-428.
- 7 Лаврентьев, М.А. Методы теории функций комплексной переменной [Текст] / М.А. Лаврентьев, Б.В. Шабат. — М.: Наука, 1973. - 749 с.
- 8 Чернышов, А.Д. Точные решения нестационарных задач теплопроводности для полупространства и треугольной призмы [Текст] / А.Д. Чернышов // Инженерно-физический журнал. - 1998. - Т.71. - №4. - С.749 - 754.

REFERENCES

- 1 Lykov, A.V. Heat and mass transfer: [Text]: guide / A.V. Lykov. - M.: Energiya, 1978. - 480 p.
- 2 Lykov, A.V. The theory of conduction of heat [Text] / A.V. Lykov. - M.: Vysshaya shkola, 1967. - 600 p.
- 3 Patent RU 2456815, IPC A 23 L. The method of moisture-heat treatment of buckwheat grain [Text] / A.A. Shevtsov, L.I. Lytkina, D.A. Britikov et al. -№ 2011106689/13; Appl. 22.02.2011; Publ. 27.07.2012, Bul. № 21.
- 4 Landau, L.D. Theoretical physics. V. VII. The theory of elasticity [Text]: textbook / L.D. Landau, E.M. Lifshits. - M.: Nauka. - 248 p.
- 5 Kobayashi, K. Solution of two-dimensional neutron diffusion equation for triangular region by finite Fourier transformation [Text] / K. Kobayashi, H. Ishibashi // Journal of nuclear science and technology. - 1978. - №15(1). - P. 1-9.
- 6 Boutros, Y.Z. Group method analysis of the potential equation in triangular regions [Text] Y.Z. Boutros, M.B. Abd-el-Malek, I.A. El-Awadi et al // Symmetry in nonlinear mathematical physics. - 1997. - №2 - P.418-428.
- 7 Lavrentev, M.A. Methods of the theory of functions of a complex variable [Text] / M. A. Lavrentev, B.V. Sabbath - M.: Nauka, 1973. -749 p.
- 8 Chernyshov, A.D. Exact solutions of non-stationary problems of heat conduction for a half-space and a triangular prism [Text] / A.D. Chernyshov // Journal of engineering and physics. - 1998. - V.71. - №4. - P.749 - 754.

Профессор А.Н. Остриков, ассистент Е.Ю. Желтоухова

(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра процессов и аппаратов химических и пищевых производств, тел. (473) 255-35-54

Математическая модель процесса радиационно-конвективной сушки фруктовых и овощных чипсов при импульсном энергоподводе

Разработана математическая модель комбинированной радиационно-конвективной сушки фруктовых и овощных чипсов при импульсном энергоподводе, описывающая изменение температуры и влагосодержания в периоде постоянной и периоде убывающей скорости сушки.

A mathematical model of combined radiation and convection drying of fruit and vegetable chips with pulsed energy supply is developed, the model describes the change in temperature and moisture content during the period of constant and periods of decreasing drying rate.

Ключевые слова: математическая модель, радиационно-конвективная сушка, период постоянной скорости сушки, период убывающей скорости сушки.

Общая задача моделирования процессов тепломассопереноса при радиационно - конвективной сушке ломтиков фруктов и овощей состоит из двух составляющих.

Первая математическая модель (внешняя задача) описывает период постоянной скорости сушки, который связан с уносом свободной влаги с поверхности фруктов и овощей до достижения ею равновесного состояния, за счет конвективного обдува теплоносителем. Температура теплоносителя равна температуре окружающей среды.

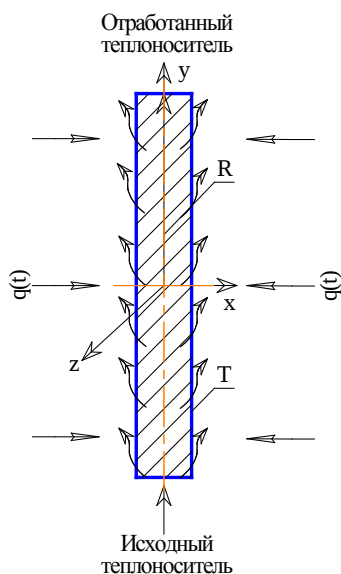


Рисунок 1 - Расчетная схема радиационно-конвективной сушки фруктовых и овощных чипсов

Вторая математическая модель описывает период убывающей скорости сушки, когда фронт испарения влаги проникает внутрь продукта.

Запишем математическую модель процесса сушки для единичной пластины исследуемого продукта. Примем пластину постоянной толщины, но предположительно близкой к круглой форме. Начало системы пространственных координат поместим в произвольную точку, близкую к геометрическому центру пластины. Будем считать, что пластина ориентирована перпендикулярно потоку инфракрасных лучей.

Ось координаты x направим параллельно потоку инфракрасных лучей и перпендикулярно поверхности пластины. Координатную плоскость (y, z) расположим перпендикулярно оси x и параллельно поверхности ломтика (как мы увидим ниже, координаты y и z не участвуют в уравнениях, описывающих процесс сушки). Время обозначим τ , начальный момент сушки принимаем за $\tau=0$.

Состояние продукта во время сушки описывается двумя основными переменными: температурой T и влагосодержанием U .

Изменение температуры T и влагосодержания U в процессе сушки описывается системой дифференциальных уравнений тепло- и массопереноса, приведенной в [5]:

$$\begin{cases} \frac{\partial U}{\partial \tau} = b \nabla U + b \delta \nabla T + \varepsilon \frac{\partial U}{\partial \tau}, \\ \frac{\partial T}{\partial \tau} = a \nabla T + \frac{\varepsilon r}{c} \frac{\partial U}{\partial \tau}. \end{cases} \quad (1)$$

где $\nabla = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа,

a – температуропроводность продукта, $\text{м}^2/\text{с}$,
 b – коэффициент массопереноса (диффузии), $\text{м}^2/\text{с}$, δ – термоградиентный коэффициент, ε – коэффициент фазового превращения, r – удельная теплота испарения воды, кДж/кг ; c – удельная массовая теплоемкость вещества, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

Поскольку в процессе сушки структура продукта претерпевает изменения, его теплофизические, оптические и другие параметры (плотность, температуропроводность, теплоемкость и т. д.) меняются. Для достижения точного решения уравнений необходимо учитывать изменения этих параметров в процессе радиационно-конвективной сушки.

Зависимость коэффициента температуропроводности a , коэффициента теплопроводности λ и массовой удельной теплоемкости c от температуры и влажности вещества описана в [8]. Согласно обобщению экспериментальных данных, каждый из этих коэффициентов при фиксированном влагосодержании линейно зависит от температуры:

$$a = a_0(U) + k_a T = a_0(U) + k_a T$$

$$\lambda = \lambda_0(U) + k_\lambda T = \lambda_0(U) + k_\lambda T$$

$$c = c_0(U) + k_c T = c_0(U) + k_c T$$

где коэффициенты a_0 , k_a , λ_0 , k_λ , c_0 , k_c принимают определенные значения для каждого конкретного продукта.

Коэффициенты поглощения, отражения и пропускания лучистого потока будем, несколько упрощая, считать постоянными. Коэффициент поглощения будем обозначать A . В связи с доминирующим перемещением влаги вдоль оси x , высоким градиентом влагосодержания, незначительными внутренним влагопереносом по координатам y , z и последующим испарением через кожуру, температура и влагосодержание не зависят от координат y , z , следовательно, уравнения (1) принимают вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial U}{\partial \tau} = b \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + b \delta \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \varepsilon \frac{\partial U}{\partial \tau}, \\ \frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\varepsilon r}{c} \frac{\partial U}{\partial \tau}. \end{cases} \quad (2)$$

В уравнение теплопереноса необходимо добавить слагаемое, отвечающее за инфракрасный нагрев. Пусть мощность падающего на вещество лучистого потока равна $q(\tau)$. Тогда мощность поглощенного потока в точке вещества с координатой x равна:

$$\tilde{q}(\tau) = Aq(\tau) \exp(k(R-x)),$$

где k – коэффициент инстинкции (коэффициент ослабления луча) [5].

Сложение двух лучистых потоков от ламп, находящихся по разные стороны от пластины, даст прогрев, не зависящий от координаты x : $\tilde{q}(\tau) = Aq(\tau)$.

Таким образом, уравнение теплопереноса принимает вид:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\varepsilon r}{c} \frac{\partial U}{\partial \tau} + \frac{1}{c\rho} Aq. \quad (3)$$

При точном решении уравнений необходимо учитывать зависимость коэффициентов от времени. С учетом этой зависимости система уравнений может быть записана так:

$$\begin{cases} \frac{\partial U}{\partial \tau}(x, \tau) = b(\tau) \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}(x, \tau) + \\ + b(\tau) \delta(\tau) \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}(x, \tau) + \varepsilon(x, \tau) \frac{\partial U}{\partial \tau}(x, \tau), \\ \frac{\partial T}{\partial \tau}(x, \tau) = a(\tau) \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}(x, \tau) + \frac{\varepsilon(x, \tau) r}{c(\tau)} \frac{\partial U}{\partial \tau}(x, \tau) + \\ + \frac{\rho_w + \rho_s U(x, \tau)}{c(\tau) \rho_s \rho_w (U(x, \tau) + 1)} Aq(\tau), \end{cases} \quad (4)$$

Уравнение (4) можно переписать в эквивалентном виде (учитывая, что $\varepsilon(x, \tau) \neq 1$, равенство означало бы, что влага не испаряется с поверхности пластины):

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial \tau}(x, \tau) &= \frac{b(\tau)}{1 - \varepsilon(x, \tau)} \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}(x, \tau) + \\ &+ \frac{b(\tau) \delta(\tau)}{1 - \varepsilon(x, \tau)} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}(x, \tau). \end{aligned} \quad (4')$$

Опишем теперь начальные и граничные условия. В момент начала сушки ($\tau = 0$) принимаем температуру и влагосодержание за постоянные величины:

$$T(x, 0) \equiv T_0, \quad U(x, 0) \equiv U_0 \quad (6)$$

Ввиду малой толщины ломтика, мы пренебрегаем процессами, происходящими на краю диска, поэтому граничные условия мы будем записывать лишь для $x = \pm R$, то есть фактически рассматриваем задачу для бесконечной пластины.

Пренебрегая бародиффузией и термо-влажностопроводностью (поскольку их вклад становится заметным лишь при температурах порядка 100 °С [5]), запишем граничное условие для уравнения массопереноса в виде условия третьего рода на поток влаги, испаряющейся через поверхность пластины:

$$-\lambda_m(R, \tau) \frac{\partial U}{\partial x}(R, \tau) = \beta(R, \tau) \frac{\rho_s \rho_w (U(R, \tau) + 1)}{\rho_w + \rho_s U(R, \tau)} (U(R, \tau) - U_{cp}), \quad (7)$$

где λ_m – коэффициент массопроводности, β – коэффициент массоотдачи, U_{cp} – влагосодержание окружающей среды.

Из соображений симметрии получим «внутреннее» граничное условие:

$$\frac{\partial U}{\partial x}(0, \tau) \equiv 0 \quad (8)$$

Аналогично запишем граничные условия для уравнения теплопереноса:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x}(R, \tau) + \alpha(T(R, \tau) - T_{cp}) = \beta(R, \tau) \frac{\rho_s \rho_w (U(R, \tau) + 1)}{\rho_w + \rho_s U(R, \tau)} \varepsilon(R, \tau) (U(R, \tau) - U_{cp}), \quad (9)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x}(0, \tau) \equiv 0 \quad (10)$$

здесь λ – коэффициент теплопроводности вещества, α – коэффициент теплоотдачи.

Конкретизируем теперь вид уравнений на разных этапах сушки.

На первом этапе инфракрасные лампы дают постоянный лучистый поток, так что в уравнении (5) $q(\tau) \equiv \text{const}$. Подставляя это выражение в систему с учетом граничных и начальных условий, задачу можно решить численно.

Однако экспериментальные измерения не отражают зависимость этих величин от x . В случае с влажностопроводностью эксперимент дает возможность судить о его среднем (имеется в виду пространственное усреднение в каждый момент времени) значении:

$$\bar{U}(\tau) = \frac{m_w(\tau)}{m_s}.$$

Что же касается температуры, то она измеряется на поверхности продукта, поэтому здесь мы имеем дело со значением $T(\pm R, \tau)$.

Систему уравнений (4) – (5) решить затруднительно. Поэтому для анализа поставленной задачи воспользуемся приближениями.

Прежде всего, воспользуемся малой толщиной пластины (в рассматриваемом опыте она равна $1,5 \cdot 10^{-3}$ м, то есть $R = 7,5 \cdot 10^{-4}$ м). Это позволяет разложить неизвестные функции $U(x, \tau)$ и $T(x, \tau)$ в ряды по переменной x :

$$\begin{cases} U(x, \tau) = u_0(\tau) + u_1(\tau)x + u_2(\tau)x^2 + \dots, \\ T(x, \tau) = t_0(\tau) + t_1(\tau)x + t_2(\tau)x^2 + \dots. \end{cases} \quad (11)$$

В силу симметрии задачи по x (пластина однородна и симметрична, воздействие постоянно по x , то есть тоже симметрично) функции $U(x, \tau)$ и $T(x, \tau)$ четны по x , это означает, что ряды будут содержать только слагаемые с четными степенями x . Подставим эти выражения в систему уравнений и начально-краевых условий, затем отбросим слагаемые степени выше 2 как пренебрежимо малые, то есть функции U и R будем приближенно искать в виде:

$$\begin{cases} U(x, \tau) \approx U_2(x, \tau) = u_0(\tau) + u_2(\tau)x^2, \\ T(x, \tau) \approx T_2(x, \tau) = t_0(\tau) + t_2(\tau)x^2 \end{cases} \quad (12)$$

Уравнение массопереноса, его начальное и краевое условия (мы отправляемся от уравнения в виде (3.7), точкой обозначается производная по времени):

$$\begin{aligned} \dot{u}_0(\tau) + \dot{u}_2(\tau)x^2 &= \frac{2b(\tau)}{1 - \varepsilon(x, \tau)} (u_2(\tau) + 6u_4(\tau)x^2) + \\ &+ \frac{2b(\tau)\delta(\tau)}{1 - \varepsilon(x, \tau)} (t_2(\tau) + 6t_4(\tau)x^2), \end{aligned} \quad (13)$$

$$u_0(0) + u_2(0)x^2 \equiv U_0 \quad (14)$$

$$2\lambda_m(R, \tau)u_2(\tau)R = \beta(R, \tau) \frac{\rho_s \rho_w (u_0(\tau) + u_2(\tau)R^2 + 1)}{\rho_w + \rho_s (u_0(\tau) + u_2(\tau)R^2)} \cdot (u_0(\tau) + u_2(\tau)R^2 - U_{cp}) \quad (15)$$

Уравнение теплопереноса (16) содержит слагаемое $\frac{\rho_w + \rho_s U(x, \tau)}{c(\tau)\rho_s \rho_w (U(x, \tau) + 1)} Aq(\tau)$, которое

необходимо разложить по степеням x :

$$\begin{aligned} \frac{\rho_w + \rho_s U(x, \tau)}{c(\tau)\rho_s \rho_w (U(x, \tau) + 1)} Aq(\tau) &= \\ &= \frac{Aq(\rho_w + \rho_s (u_0(\tau) + u_2(\tau)x^2))}{\rho_s \rho_w c(\tau) (u_0(\tau) + u_2(\tau)x^2 + 1)} = \\ &= \frac{Aq}{\rho_s \rho_w c(\tau)} \left(\frac{\rho_w + \rho_s u_0(\tau)}{1 + u_0(\tau)} + \frac{\rho_s - \rho_w}{(1 + u_0(\tau))^2} u_2(\tau)x^2 \right) \end{aligned}$$

Таким образом, уравнение теплопереноса с начальными (для первого периода сушки) и краевыми условиями приобретает вид:

$$\begin{aligned} \dot{t}_0(\tau) + \dot{t}_2(\tau)x^2 = 2a(\tau)(t_2(\tau) + 6t_4(\tau)x^2) + \\ + \frac{\varepsilon(x, \tau)r}{c(\tau)}(\dot{u}_0(\tau) + \dot{u}_2(\tau)x^2) + \frac{Aq}{\rho_s \rho_w c(\tau)} \times \\ \times \left(\frac{\rho_w + \rho_s u_0(\tau)}{1 + u_0(\tau)} + \frac{\rho_s - \rho_w}{(1 + u_0(\tau))^2} u_2(\tau)x^2 \right), \quad (16) \\ -2\lambda t_2(\tau)R + \alpha(t_0(\tau) + t_2(\tau)R^2 - T_{cp}) = \\ = \beta(R, \tau)r \frac{\rho_s \rho_w (u_0(\tau) + u_2(\tau)R^2 + 1)}{\rho_w + \rho_s (u_0(\tau) + u_2(\tau)R^2)} \cdot \\ \cdot \varepsilon(R, t)(u_0(\tau) + u_2(\tau)R^2 - U_{cp}), \quad (17) \\ t_0(0) + t_2(0)x^2 \equiv T_0 \end{aligned}$$

Отметим, что внутренние граничные условия (16) и (17) уже учтены, они являются следствием четности функций U и T по X .

Согласно [1, 6], на первом этапе сушки изменение величины коэффициента фазового превращения $\varepsilon(x, \tau)$ весьма незначительно, и можно положить его равным 0. Перепишем соотношения, описывающие теплоперенос, с учетом этого обстоятельства:

$$\begin{aligned} \dot{t}_0(\tau) + \dot{t}_2(\tau)x^2 = 2a(\tau)(t_2(\tau) + 6t_4(\tau)x^2) + \\ + \frac{Aq}{\rho_s \rho_w c(\tau)} \left(\frac{\rho_w + \rho_s u_0(\tau)}{1 + u_0(\tau)} + \frac{\rho_s - \rho_w}{(1 + u_0(\tau))^2} u_2(\tau)x^2 \right), \\ -2\lambda t_2(\tau)R + \alpha(t_0(\tau) + t_2(\tau)R^2 - T_{cp}) = 0 \\ t_0(0) + t_2(0)x^2 \equiv T_0 \end{aligned}$$

Выше приведены выражения для коэффициентов температуропроводности и теплоемкости:

$$\begin{aligned} a = a_0 + k_a T + l_a \frac{U}{1+U}, \\ c = c_0 + k_c T + l_c \frac{U}{1+U}. \end{aligned}$$

Как показали эксперименты, за время этапа постоянной скорости сушки коэффициент температуропроводности a меняется незначительно, тем более что его увеличение за счет повышения температуры отчасти компенсируется уменьшением за счет снижения влагосодержания. Поэтому для первого этапа мы примем значение этого коэффициента постоянным и равным $a \approx a = 4,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ [8].

Аналогично, теплоемкость примем равной $c \approx c_1 = 3600 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

После упрощения правой части и отбрасывания слагаемых порядка выше 2 по x уравнение приобретает вид:

$$\begin{aligned} \dot{t}_0(\tau) + \dot{t}_2(\tau)x^2 = 2a_1 t_2(\tau) + \\ \frac{Aq(\rho_w + \rho_s u_0(\tau))}{\rho_s \rho_w c_1(1 + u_0(\tau))} + 2 \frac{Aq_1 q}{\rho_s \rho_w c_1} \cdot \\ \cdot \left(6 \frac{\rho_w + \rho_s u_0(\tau)}{1 + u_0(\tau)} t_4(\tau) + \frac{\rho_s - \rho_w}{(1 + u_0(\tau))^2} u_2(\tau)t_2(\tau) \right) x^2 \end{aligned} \quad (18)$$

Приравняем коэффициенты при одинаковых степенях X :

$$\begin{cases} \dot{t}_0(\tau) = 2a_1 t_2(\tau) + \frac{Aq(\rho_w + \rho_s u_0(\tau))}{\rho_s \rho_w c_1(1 + u_0(\tau))} \\ \dot{t}_2(\tau) = 2 \frac{Aq_1 q}{\rho_s \rho_w c_1} \left(6 \frac{\rho_w + \rho_s u_0(\tau)}{1 + u_0(\tau)} t_4(\tau) + \frac{\rho_s - \rho_w}{(1 + u_0(\tau))^2} u_2(\tau)t_2(\tau) \right). \end{cases}$$

Изменения коэффициента теплопроводности λ (который участвует в граничном условии для уравнения теплопереноса) на первом этапе сушки не превосходят 2–3 %, мы примем этот коэффициент равным приблизительно $\lambda \approx \lambda_1 = 0,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Уравнение массопереноса с учетом допущения $\varepsilon(x, \tau) = 0$ принимает вид:

$$\begin{aligned} \dot{u}_0(\tau) + \dot{u}_2(\tau)x^2 = 2b(\tau)(u_2(\tau) + 6u_4(\tau)x^2) + \\ + 2b(\tau)\delta(\tau)(t_2(\tau) + 6t_4(\tau)x^2) \end{aligned}$$

Приравнивание коэффициентов при одинаковых степенях x дает систему:

$$\begin{cases} \dot{u}_0(\tau) = 2b(\tau)u_2(\tau) + 2b(\tau)\delta(\tau)t_2(\tau), \\ \dot{u}_2(\tau) = 12b(\tau)u_4(\tau) + 12b(\tau)\delta(\tau)t_4(\tau). \end{cases} \quad (19)$$

Значения коэффициента массопереноса (диффузии) b и термоградиентного коэффициента δ будем считать постоянными.

Выпишем значения констант, участвующих в системе уравнений тепло- и массопереноса. Мощность теплового потока примем равной $q = 1,2 \cdot 10^3 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Коэффициент поглощения для персика в соответствии с экспериментальными данными примем равным $A \approx 0,57$. Значение плотности влаги примем

равным плотности воды: $\rho_w = 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$. Зная плотность продукта при исходной влажности 86 % и при влажности 7,74 %, найдем плотность абсолютно сухого вещества: $\rho_s \approx 1,353 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$. Коэффициент диффузии b примем равным $b = 2,71 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$.

Как показывают эксперименты [52], термоградиентный коэффициент δ весьма мал при высоких значениях влагосодержания, поэтому на первом этапе сушки мы им пренебрежем.

Поскольку материал подвергается постоянному обдуванию воздухом, который уносит влагу, значения T_{cp} и U_{cp} постоянны, $T_{cp} = 22,5$ °С.

На втором этапе сушки мощность лучистого потока такая, чтобы обеспечивать постоянную температуру продукта. Таким образом, левая часть уравнения (1) оказывается тождественно равной 0. Подставляя в уравнения (1) и (2) в граничные условия известные значения констант, задачу можно решить численно (начально условие для уравнения второго периода сушки получается из решения уравнения для первого периода).

На втором этапе сушки температура постоянна и задача сводится к построению функции влагосодержания. Поскольку температура, в силу нагрева, выравнивается практически по всей толще продукта, слагаемое, содержащее $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$, из уравнения массопереноса пропадает, и это уравнение приобретает вид:

$$\frac{\partial U}{\partial \tau}(x, \tau) = b(\tau) \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}(x, \tau) + \varepsilon(x, \tau) \frac{\partial U}{\partial \tau}(x, \tau) \quad (20)$$

или

$$\frac{\partial U}{\partial \tau}(x, \tau) = \frac{b(\tau)}{1 - \varepsilon(x, \tau)} \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}(x, \tau). \quad (21)$$

Коэффициент $b(\tau)$, как и для первого этапа, будем считать постоянным и равным $b = 2,71 \cdot 10^{-10}$ м²/с; величину $\varepsilon(x, \tau)$ положим равной 0,3. Коэффициент

$\frac{b(\tau)}{1 - \varepsilon(x, \tau)} = 3,87 \cdot 10^{-10}$ м²/с обозначим B .

Начальное условие приобретает вид:

$$U(x, \tau_0) = C_0 + C_2 x^2 \quad (22),$$

где константы C_0, C_2 могут быть найдены из среднего значения $\bar{U}(\tau_0)$, определенного экспериментально, и из граничного условия. Принимая $\bar{U}(\tau_0) = 0,5$ (примерное значение влагосодержания в момент, когда температура продукта стабилизируется), получаем соотношение $C_0 R + \frac{1}{3} C_2 R^3 = 0,5$.

Граничное условие в данном случае имеет вид:

$$\lambda_m(R, \tau) \frac{\partial U}{\partial x}(R, \tau) = \beta(R, \tau) \cdot \frac{\rho_s \rho_w (U(R, \tau) + 1)}{\rho_w + \rho_s U(R, \tau)} (U(R, \tau) - U_{cp}) \quad (23)$$

или

$$\frac{\partial U}{\partial x}(R, \tau) = \frac{\beta(R, \tau)}{\lambda_m(R, \tau)} \cdot \frac{\rho_s \rho_w (U(R, \tau) + 1)}{\rho_w + \rho_s U(R, \tau)} (U(R, \tau) - U_{cp}). \quad (24)$$

Как и прежде, полагаем $U_{cp} = 0$. Поскольку значения ρ_s и ρ_w отличаются незначительно, используем приближенное равенство:

$$\frac{\rho_s \rho_w (U(R, \tau) + 1)}{\rho_w + \rho_s U(R, \tau)} = \frac{\rho_w (U(R, \tau) + 1)}{(U(R, \tau) + \frac{\rho_w}{\rho_s})} \approx \rho_w.$$

Для коэффициентов массопроводности $\lambda_m(R, \tau)$ и массоотдачи $\beta(R, \tau)$ возьмем постоянные значения:

$$\lambda_m(R, \tau) = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ кг/(м} \cdot \text{с)},$$

$$\beta(R, \tau) = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м/с [4].}$$

При сделанных допущениях граничное условие приобретает вид:

$$\frac{\partial U}{\partial x}(R, \tau) = KU(R, \tau), \quad (25)$$

$$\text{где } K = \frac{\beta \rho_w}{\lambda_m} \approx 0,12 \text{ м}^{-1}.$$

Запишем задачу массопереноса при сделанных допущениях:

$$\begin{cases} \frac{\partial U}{\partial \tau}(x, \tau) = B \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}(x, \tau), \\ U(x, \tau_0) = C_0 + C_2 x^2, \\ \frac{\partial U}{\partial x}(R, \tau) = KU(R, \tau). \end{cases} \quad (26)$$

Система уравнений (26) представляет собой начально – краевую задачу третьего рода для уравнения теплопроводности, решение которой хорошо известно [2, 3, 9]. Воспользуемся частным случаем этого решения справедливым при $Bi \sim 1$ или $Bi \gg 1$.

$$U(x, \tau) = D_1 \exp(-B\mu^2\tau) \cos \mu x + D_0,$$

где D_1, μ, D_0 – константы, которые могут быть определены из начального и граничного условия.

Была выбрана именно эта форма решения, поскольку функция $\cos \mu x$ близка (с точностью до слагаемых четвертого порядка) к квадратичной функции, а в качестве начального условия задан параболический профиль влажности.

Для проверки адекватности математической модели сопоставим теперь функции температуры и влагосодержания, полученные из решения системы уравнений, с измеренными экспериментальными данными для одного опыта. Измеренными величинами в этом опыте были влагосодержание и температура продукта.

На первом этапе сушки численное решение с помощью математического пакета Maple 14 системы уравнений (19) тепло- и массопереноса дает близкую к линейной зависимость от времени функций температуры и влагосодержания.

Для второго этапа, подставляя значения констант в систему (26), получим функцию, среднее значение которой $\bar{U}(\tau)$ при умножении на соответствующую константу позволяет построить кривую сушки, приведенную на рисунке 2 совместно с линейной аппроксимацией для экспериментально определенных значений. Результаты вычислений в сопоставлении с результатами опытов показаны на рисунке 2.

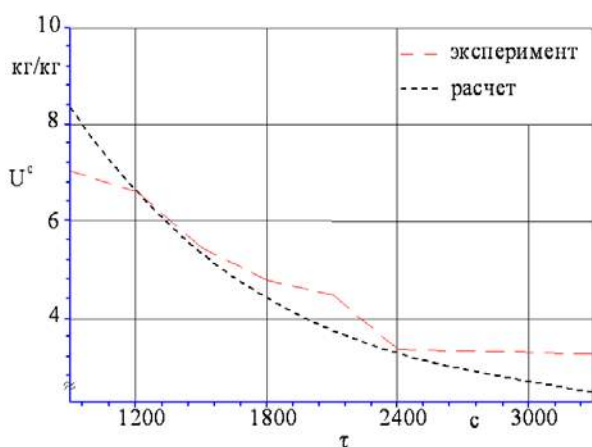


Рисунок 2 - Функция изменения влагосодержания продукта от времени

Полученные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1

Вычисленные по модели и экспериментальные значения влагосодержания продукта

Время, мин	$U^с$ (модельн.), кг/кг	$U^с$ (эксперим.), кг/кг	Абсолютная разница, кг/кг	Относит. разница, %
20	6,34	6,34	0	0
25	5,36	5,67	-0,31	5,46
30	4,08	5,01	-0,93	18,56
35	3,19	4,98	-1,79	35,94
40	3,09	3,35	-0,26	7,76
45	2,37	3,34	-0,97	29,04
50	1,50	3,06	-1,56	50,98
55	1,00	2,99	-1,99	66,55

Можно сделать вывод, что погрешность накапливается к концу процесса радиационно-конвективной сушки. Очевидно, это связано с тем, что модель учитывает не все факторы, влияющие на процесс, а также с упрощениями, допущенными в самой модели. В первой половине второго этапа сушки математическая модель обеспечивает удовлетворительную точность.

Расчет средней относительной ошибки на протяжении всего процесса не превышает 20 % и показывает соответствие расчетных данных с экспериментальными значениями.

ЛИТЕРАТУРА

1 Гинзбург, А. С. Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности [Текст] / А. С. Гинзбург. – М.: Агропромиздат, 1985. – 336 с.

2 Кондратов, А. П. Основы физического эксперимента и математическая обработка результатов измерений [Текст] / А. П. Кондратов. – М.: Атомиздат, 1977. – 196 с.

3 Липин, А. Математическая модель терморadiационной сушки полимерного геля [Текст] / А. Липин, Д. Кириллов // Ивановский химико-технологический университет. – 2008. – С. 173-180.

4 Лупу, О.Ф. Теоретическое и экспериментальное исследование процесса сушки абрикос с применением токов высокой частоты [Текст]: автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – Кишинев, 2005 - 23 с.

5 Лыков, А.В. Теория сушки [Текст] / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.

6 Орлов, А.И. Нечисловая статистика [Текст] / А.И. Орлов. – М.: "МЗ-Пресс", 2004. – 516 с.

7 Остриков, А. Н. Определение оптических характеристик плодов персика, хурмы, груши и тыквы [Текст] / А. Н. Остриков, Е. Ю. Желтоухова // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования», Тамбов. – 2012. – Т. 12. - С. 108-109.

8 Остриков, А.Н. Теплофизические свойства персиков, высушенных радиационно-конвективным способом сушки, при переменном теплоподводе [Текст] / А.Н. Остриков, Ю.В. Складчикова, Е.Ю. Желтоухова // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований», Одесса. - 2011. – Т. 4. - С. 55–58.

9 Самарский, А.А. Численные методы [Текст] / А.А. Самарский, А.В. Гулин. – М.: Наука, 1989. – 432 с.

REFERENCES

1 Ginsburg , A.S. Calculation and design of dryers food industry [Text] / A.S. Ginsburg. - M.: Agropromizdat, 1985. - 336 p.

2 Kondratov, A.P. Fundamentals of physical experiments and mathematical treatment of the results of measurements [Text] / A.P. Kondratov. – M.: Atomizdat, 1977. - 196 p.

3 Lipin, A. Mathematical model thermoradiation drying polymer gel [Text] / A. Lipin, D. Kirillov // Ivanovo University of Chemical Technology. - 2008. - P. 173-180.

4 Lupu, O.F. Theoretical and experimental study of the process of drying apricots using high-frequency currents [Text]: abstr. diss. ... ScD. - Kishinev, 2005 - 23 p.

5 Lykov, A.V. Theory of drying [Text] / A.V. Lykov. – М.: Energiya, 1968. - 472 p.

6 Orlov, A.I. non-numerical statistics [Text] / A.I. Orlov. - М.: "MZ -Press ", 2004. - 516 p.

7 Ostrikov, A.N. Determination of the optical characteristics of the fruit peach, persimmon , pear and pumpkin [Text] / A.N. Ostrikov, E.Y. Zheltouhova // Proceedings of the Materials of the International scientific-practical conference "Prospects of development of science and education", Tambov. - 2012. - V. 12. - P. 108-109.

8 Ostrikov, A.N. Thermal properties of peaches, dried radiation-convective drying method, with variable heat supply [Text] / A.N. Ostrikov, Y.V. Skladchikova, E.Y. Zheltouhova // Proceedings of the Materials International scientific- practical conference " Modern Trends in theoretical and applied research", Odessa. - 2011. - V. 4. - P. 55-58.

9 Samarin, A.A. Numerical methods [Text] / A.A. Samarin, A.V. Gulin. – М.: Nauka, 1989. - 432 p.

Аспирант А.С. Бредихин, д.т.н. В.В. Червецов
(ГНУ ВНИИ молочной промышленности Россельхозакадемии, г. Москва)

Гидродинамика процесса охлаждения молочной сыворотки при поточной кристаллизации лактозы

Статья посвящена изучению стационарного осесимметричного течения молочной сыворотки в скребковом теплообменнике. Получены результаты для практического использования.

Article is devoted to studying of a stationary axisymmetric current of whey in the scraper heat exchanger. Results for practical use are received.

Ключевые слова: осесимметричное течение, молочная сыворотка, вязкость, давление, расход, кристаллизация лактозы, теплообменник непрерывного действия

Поточная кристаллизация лактозы развивается в сложных гидродинамических условиях и широком температурном диапазоне для молочной сыворотки. [1, 5, 6]. Для технической реализации поточной кристаллизации лактозы в ГНУ ВНИИ молочной промышленности Россельхозакадемии, разработана опытнопромышленная установка (рисунок 1). Основной частью этой установки является пластинчатый

скребковый теплообменник, который используют как охладитель-кристаллизатор.

Молочную сгущённую сыворотку с температурой 55-60 °С подают насосом в первую секцию пластинчатого скребкового теплообменника, где она охлаждается до температуры массовой кристаллизации лактозы, затем поступает в дисковый обработчик, состоящий из набора подвижных и неподвижных дисков.

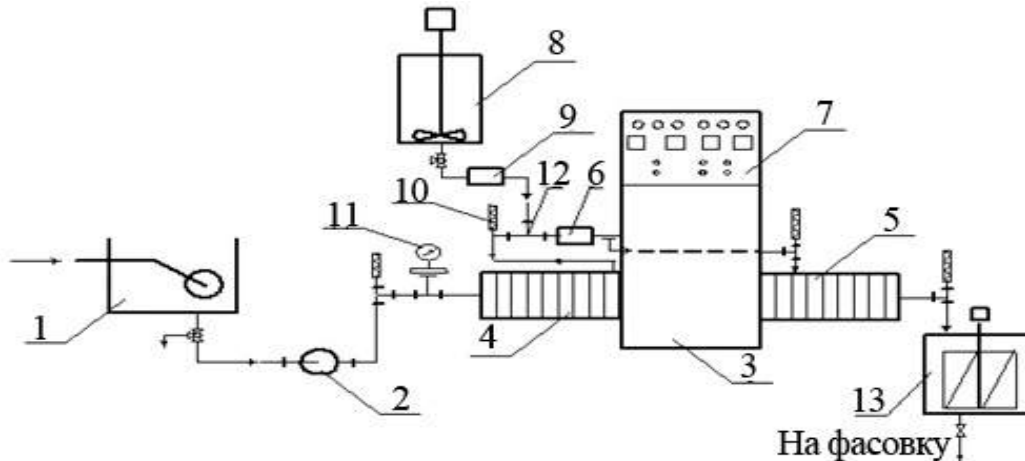


Рисунок 1 - Схема установки для поточной кристаллизации лактозы в молочной сыворотке:
1-приёмная ёмкость, 2-насос подачи продукта, 3-пластинчатый скребковый теплообменник, 4- I секция охлаждения, 5- II секция охлаждения, 6-дисковый обработчик, 7-щит управления, 8-ёмкость для затравки, 9-насос-дозатор, 10-термометры сопротивления, 11-манометр с разделительной мембраной, 12-струйный смеситель, 13-буферная ёмкость.

Подвижные диски снабжены выступами со специальными проточками, обеспечивающими кавитационный режим течения. Перед дисковым обработчиком в поток продукта через струйный смеситель насосом-дозатором впрыскивается взвесь затравки, которая диско-

вым обработчиком гарантированно распределяется по всему объёму продукта, при этом подвергая его интенсивному гидродинамическому воздействию. Охлажденный во II секции теплообменника до конечной температуры продукт поступает в буферную ёмкость и затем на фасовку.

Авторами проведено исследование гидродинамика охлаждения молочной сыворотки при поточной кристаллизации лактозы в пластинчатом скребковом теплообменнике. [1, 5-6]. Такой аппарат представляет собой набор чередующихся теплообменных и так называемых продуктовых пластин в форме диска, установленных и зажатых на специальных штангах. Набор последовательно соединенных теплообменных элементов образует теплопередающую поверхность аппарата для нагревания или охлаждения продукта. В зависимости от организации процесса молочная сыворотка может поступать в пространство между дисками как из центрального отверстия, так и из отверстий, расположенных на периферии дисков.

Внутри продуктовых пластин расположены подвижные диски, закрепленные на валу. С обеих сторон этих дисков подвижно закреплены полиамидные ножи специальной формы. При вращении дисков эти ножи счищают с поверхности теплообменных пластин пристенный ламинарный слой обрабатываемого продукта, при

этом происходит его перемешивание. В зависимости от направления движения молочной сыворотки и хладоносителя аппарат может работать по схеме прямотока и противотока.

Исследование основано на решении дифференциального уравнения теплопереноса в движущихся жидких средах, записанных в цилиндрической системе координат при осесимметричном распределении температуры, без учета диссипации энергии:

$$v_r \frac{\partial T}{\partial r} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

где T – температура в точках продукта, °С, r и z – цилиндрические координаты точки продукта, v_r и v_z – проекции скорости точек продукта на оси r и z , a – коэффициент температуропроводности.

Расчётная схема процесса приведена на рисунке 2.

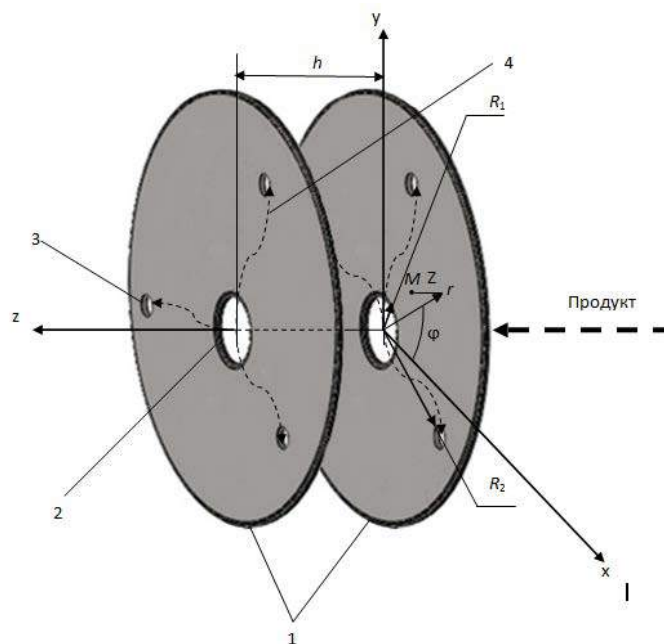


Рисунок 2 - Расчётная схема: 1 – продуктовые пластины; 2 – центральное отверстие; 3 – периферийные отверстия; 4 – линии тока продукта

Полагаем, что осевая скорость продукта V_z значительно меньше радиальной V_r и окружной V_ϕ скоростей, поэтому в уравнении (1) $v_z \frac{\partial T}{\partial z} \approx 0$ положим. Для определения радиальной скорости V_r воспользуемся

дифференциальным уравнением стационарного осесимметричного течения несжимаемой нелинейно-вязкой жидкости, полагая в нем реологические константы и плотность продукта ρ не зависящими от температуры для данной пары дисков (охлаждающего элемента). Для этого запишем общее дифференциальное уравнение осесимметричного

стационарного течения сплошной среды в напряжениях [2] в проекции на радиальное направление r :

$$v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} - \frac{v_\varphi^2}{r} = F_r + \frac{1}{\rho} \left\{ \frac{\partial \tau_{rr}}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\tau_{rr} - \tau_{\varphi\varphi}}{r} \right\}, \quad (2)$$

где $\tau_{rr}, \tau_{\varphi\varphi}$ – нормальные напряжения на площадках перпендикулярных соответственно радиальной r и окружной φ осям, τ_{rz} – касательное напряжение на площадках перпендикулярных осям r и z .

Реологические исследования молочной сыворотки позволяют с большой точностью принять в качестве её реологической модели степенную модель Оствальда-Де Виля. Для такой модели компоненты тензора напряжений, входящие в уравнение (1), при сделанных ранее предположениях имеют вид [3, 4]:

$$\begin{aligned} \tau_{rr} &= -p + 2k|H|^{n-1} \frac{\partial v_r}{\partial r}, \\ \tau_{\varphi\varphi} &= -p + 2k|H|^{n-1} \frac{v_r}{r}, \\ \tau_{rz} &= k|H|^{n-1} \frac{\partial v_r}{\partial z} \end{aligned} \quad (3)$$

где k и n – реологические константы молочной сыворотки, H – интенсивность скоростей деформации равная:

$$H = \sqrt{\frac{1}{6} \left[\left(\frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{v_r}{r} \right)^2 + \left(\frac{v_r}{r} \right)^2 + \left(-\frac{\partial v_r}{\partial r} \right)^2 \right] + \frac{1}{4} \left(\frac{\partial v_r}{\partial z} \right)^2}. \quad (4)$$

Величина $k|H|^{n-1}$ может рассматриваться как некоторая кажущаяся (эффективная) вязкость.

Уравнение неразрывности (несжимаемости) справедливое для любой жидкой среды при сделанных предположениях имеет вид:

$$\frac{\partial(r v_r)}{\partial r} = 0. \quad (5)$$

Интегрируя уравнение (5), находим:

$$v_r = \frac{1}{r} f(z). \quad (6)$$

На основании равенства (6) для интенсивности скоростей деформации H из (4) получим выражение:

$$H = \sqrt{\left(\frac{f(z)}{r^2} \right)^2 + \left(\frac{f'(z)}{2r} \right)^2}, \quad (7)$$

где штрих во втором слагаемом подкоренного выражения и далее означает производную по координате z .

Оценим порядки слагаемых в подкоренном выражении формулы (7), приведя ее к безразмерному виду. Для этого запишем следующие соотношения между размерными и безразмерными величинами, входящими в (7):

$$\begin{aligned} z &= \bar{z} h, \\ r &= \bar{r} R_2, \\ f(z) &= \bar{v}_r R_2 \bar{f}(\bar{z}), \\ f'(z) &= \frac{\bar{v}_r R_2}{h} \bar{f}'(\bar{z}), \end{aligned} \quad (8)$$

где в качестве характерных координат взяты: зазор h между дисками и радиус R_2 центров выходных отверстий (рисунок 1); маленькая дуга над V_r означает осреднение по координате r , а верхняя черта обозначает безразмерную величину. Подставив выражения размерных величин по соотношениям (8) в формулу (7), приведем ее к виду:

$$H = \frac{\bar{v}_r h}{\bar{r}} \times \sqrt{\left(\frac{\bar{f}(\bar{z})}{\bar{r}^2} \right)^2 \frac{h^2}{R_2^2} + \left(\frac{\bar{f}'(\bar{z})}{2} \right)^2}. \quad (9)$$

Так как в формуле (9) подкоренное выражение приведено к безразмерной форме, то порядки слагаемых в этом выражении будут определяться порядком коэффициентов при этих слагаемых. Коэффициент при первом слагаемом значительно меньше коэффициента при втором слагаемом, т. е. $\frac{h^2}{R_2^2} \ll \frac{1}{4}$. Так,

например, если положить $h \sim 10^{-3}$ м и $R_2 \sim 10^{-2}$ м, то $\frac{h^2}{R_2^2} \sim 0,01$. Таким образом, в

подкоренных выражениях (9) и (7) можно оставить только вторые слагаемые. На этом основании интенсивность скоростей деформации (7) запишется как:

$$H = \left| \frac{f'(z)}{2r} \right| = \frac{1}{2r} |f'(z)|. \quad (10)$$

В этом случае с учетом (6) соотношения (3) примут следующий вид:

$$\begin{aligned} \tau_{rr} &= -p - 2k \left| \frac{f'(z)}{2r} \right|^{n-1} \frac{f(z)}{r^2}, \\ \tau_{\varphi\varphi} &= -p + 2k \left| \frac{f'(z)}{2r} \right|^{n-1} \frac{f(z)}{r^2}, \\ \tau_{rz} &= k \left| \frac{f'(z)}{2r} \right|^{n-1} \frac{f'(z)}{r} \end{aligned} \quad (11)$$

Так как продукт принудительно вращается при помощи крестообразных лопастей, то окружная скорость точек продукта не больше величины ωr , где ω – угловая скорость лопастей мешалки. Поэтому примем эту величину за окружную скорость V_φ , т. е.:

$$V_\varphi = \omega r. \quad (12)$$

Подстановка выражений компонент тензора напряжений из (11) и окружной скорости (12) при условии $v_z \approx 0$ в уравнение (2) приводит это уравнение к следующему виду:

$$\begin{aligned} -\frac{[f(z)]^2}{r^3} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial r} \times \\ &\times \left(p - \frac{\rho \omega^2 r^2}{2} \right) + \\ &+ \frac{k}{\rho} \left(\frac{1}{2} \right)^{n-1} \left(\frac{1}{r} \right)^n \frac{\partial}{\partial z} \times \\ &\times [f'(z)]^n \text{sign } f'(z) \end{aligned} \quad (13)$$

Выражение в левой части равенства (13) значительно меньше каждого из слагаемых в его правой части. Это следует из оценок, сделанных аналогично оценкам в формуле (7).

Тогда можно принять $\frac{[f(z)]^2}{r^3} \sim 0$ и в получившемся уравнении разделяются слагаемые, зависящие только от соответствующих координат r и z . Кроме того, в первом слагаемом правой части величина $\frac{\rho \omega^2 r^2}{2} \ll p$ и ей мож-

но пренебречь по сравнению с давлением p . Это следует из условия малости угловой скорости ω вращения мешалок. Так, например, в реальных охладителях данного типа $p \sim 10^5 \text{ Па}$, $\omega \sim 4 \text{ с}^{-1}$, $r \sim 0,1 \text{ м}$, $\rho \sim 10^3 \text{ кг/м}^3$. Отсюда следует справедливость усиленного неравенства, написанного выше. На этом основании уравнение (13) запишется как:

$$\begin{aligned} r^n \frac{\partial p}{\partial r} &= k \left(\frac{1}{2} \right)^{n-1} \times \\ &\times \frac{\partial}{\partial z} [f'(z)]^n \text{sign } f'(z) \end{aligned} \quad (14)$$

При этом считается, что давление p не зависит от поперечной координаты z . В дальнейшем, в силу симметрии профиля радиальной скорости относительно срединной плоскости дисков, будем при гидродинамических расчетах рассматривать область $0 \leq z \leq \frac{h}{2}$. Для этой

области $\text{sign } f'(z) = 1$. Приравнявая левую и правую части (14) к одной и той же константе A с учетом $\text{sign } f'(z) = 1$, получим два обыкновенных дифференциальных уравнения относительно функции $f(z)$ и давления p :

$$r^n \frac{\partial p}{\partial r}(p) = A, \quad (15)$$

$$k \left(\frac{1}{2} \right)^{n-1} \frac{\partial}{\partial z} [f'(z)]^n = A. \quad (16)$$

Уравнения (15), (16) будем решать при следующих граничных условиях:

$$\begin{aligned} r &= R_1, p(R_1) = p_1; \\ r &= R_2, p(R_2) = p_2, \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} z &= 0, f(r, 0) = 0; \\ z &= \frac{h}{2}, f\left(r, \frac{h}{2}\right) = 0, \end{aligned} \quad (18)$$

где R_2 – расстояние центров выходных отверстий от центров дисков; последнее из граничных условий (18) следует из симметрии профиля радиальной скорости относительно срединной плоскости $z = \frac{h}{2}$. Интегрированием уравнений (15) и (16) при граничных условиях (17) и (18) получаем выражения для давления $p(r)$ и функции $f(z)$:

$$p(r) = p_1 - \frac{p_1 - p_2}{R_2^{1-n} - R_1^{1-n}} \times (r^{1-n} - R_1^{1-n}) \quad (19)$$

$$f(z) = - \left[- \frac{(p_1 - p_2)(1-n)}{k(R_2^{1-n} - R_1^{1-n})} \right]^{\frac{1}{n}} \times \frac{n}{n+1} \left[\left(\frac{h}{2} - z \right)^{\frac{n+1}{n}} - \left(\frac{h}{2} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right] \quad (20)$$

Для полного гидродинамического расчета охладителя представляется важным получить зависимость между перепадом давления $p_1 - p_2$ на входе и выходе продукта из данного охладительного элемента и расходом продукта

$$Q, \text{ используя формулу } q = 4\pi r \int_0^{\frac{h}{2}} v_r dz.$$

Подставив в эту формулу выражение v_r с учетом (20) и интегрируя, получим:

$$q = 2\pi h \frac{2n}{2n+1} \left(\frac{h}{2} \right)^{\frac{n+1}{n}} \times \left[\frac{(p_1 - p_2)(1-n)}{k(R_2^{1-n} - R_1^{1-n})} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (21)$$

Таким образом, полученные формулы позволяют проводить гидродинамический расчет пластинчатых скребковых теплообменных аппаратов при охлаждении молочной сыворотки для кристаллизации в ней лактозы.

ЛИТЕРАТУРА

1 Бредихин, С.А. Технологическое оборудование предприятий молочной промышленности [Текст] / С.А. Бредихин. - М.: Колос, 2010. - 408 с.

2 Кулаков, А.В. Элементы механики пищевых сред [Текст] / А.В. Кулаков, В.М. Чесноков. - М.: МГУПБ, 2004. - 301 с.

3 Чеботарев, Е.А. Вязкость молочной сыворотки и продуктов из неё [Текст] / Е.А. Чеботарев, П.Г. Нестеренко, Л.Е. Давыдянц и др. // Молочная промышленность. - 1983. - № 2. - С. 26-27

4 Шульман, З.П. Конвективный теплоперенос реологически сложных жидкостей [Текст] / З.П. Шульман. - М.: Энергия, 1975. - 352 с.

5 Broun, D.J. Crystal growth measurement and modeling of fluid flow in a crystallizer [Text] / D.J. Broun, F. Bousan // Zuckerindustrie. - 1992. - V. 117. - № 1. - P. 35-39.

6 Spreer, E. Technologie der Milchverarbeitung [Text] / E. Spreer. - Hamburg: Behr's Verlag, 1995 - 517 p.

REFERENCES

1 Bredikhin, S.A. Technological equipment of the dairy industry [Text] / S.A. Bredikhin. - M.: Kolos, 2010. - 408 p.

2 Kulakov, A.V. Elements of mechanics food media [Text] / A.V. Kulakov, V.M. Chesnokov. - M.: MSUAB, 2004. - 301 p.

3 Chebotarev, E.A. The viscosity of whey and products from it [Text] / E.A. Chebotarev, P.G. Nesterenko, L.E. Davydyants et al // Dairy industry. - 1983. - № 2. - P. 26-27

4 Shulman, Z.P. Convective heat transfer rheology of complex fluids [Text] / Z.P. Shulman. - M.: Energiya, 1975. - 352 p.

5 Broun, D.J. Crystal growth measurement and modeling of fluid flow in a crystallizer [Text] / D.J. Broun, F. Bousan // Zuckerindustrie. - 1992. - V. 117. - № 1. - P. 35-39.

6 Spreer, E. Technologie der Milchverarbeitung [Text] / E. Spreer. - Hamburg: Behr's Verlag, 1995 - 517 p.

Профессор Ю.А. Фатыхов, доцент В.А. Шуманов,
(Калининградский государственный технический университет)
В.А. Зарудный
(Правительство Калининградской области)

Математическая модель процесса коэкструдирования пищевых масс

Рассмотрен процесс коэкструдирования пищевых масс. Получены уравнения движения в кольцевой и цилиндрической трубе двух соприкасающихся вязкопластичных жидкостей. Определены постоянные коэффициенты уравнений, зависящие от параметров процесса и конструктивных размеров коэкструзионной насадки.

The process of co-extruding food masses is considered. The equations of motion in a circular cylindrical tube and two adjoining viscous-plastic fluids are obtained. The constant equation coefficients, depending on the process parameters and structural dimensions of co-extrusion nozzle, are defined.

Ключевые слова: коэкструзия, пищевые массы, вязкость, модель, уравнения движения

В работах [1, 2] рассмотрен механизм и физическая картина получения комбинированных фаршевых изделий методом коэкструзии. В данной работе будет представлена математическая модель данного процесса.

Процесс формирования готовой продукции происходит в камере коэкструзионной насадки машинной системы Vemag893.

Камера формирования (рисунок 1) представляет собой полость цилиндрической формы, куда подается фаршевая оболочка. Коаксиально в данную полость подается начинка через кольцевой цилиндрический канал с клапаном, регулирующим подачу. Внизу камеры формирования установлена диафрагма с ножом в виде лепестков.

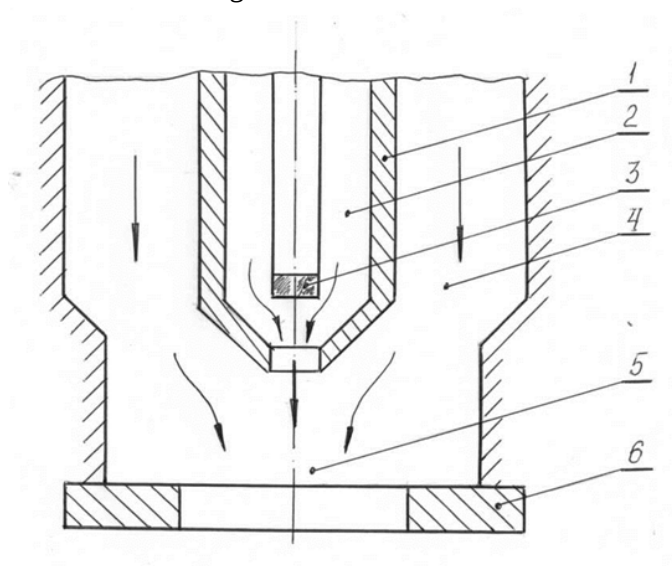


Рисунок 1 – Нижняя часть коэкструзионной насадки
1 – насадка; 2 – начинка; 3 – клапан; 4 – оболочка; 5 – камера формирования; 6 – диафрагма

Процесс формирования готового изделия связан с началом раскрытия ножей (лепестков) диафрагмы. По мере раскрытия диафрагмы поднимается клапан, связанный

с пневматическим исполнительным механизмом, и по цилиндрическому кольцевому каналу внутрь оболочки выдавливается начинка. Формирование готового продукта связано с полным раскрытием и закрытием диафрагмы и клапана.

На рисунке 2 схематично представлено движение начинки и оболочки в камере формиро-

рования. С индексом 1 связаны величины, характеризующие начинку, с индексом 2 – оболочку.

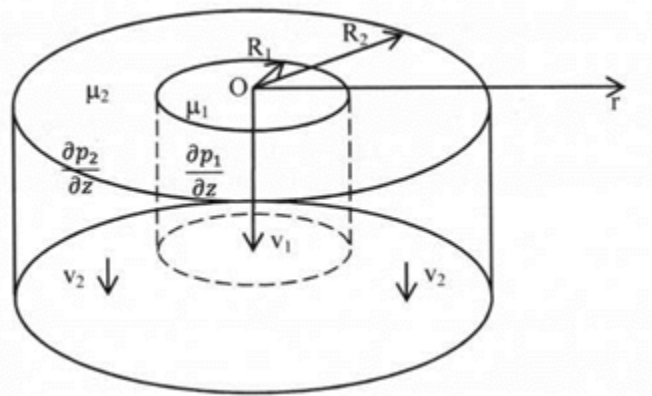


Рисунок 2 - Схема движения начинки и оболочки в камере формирования

За основу математической модели возьмем уравнение Навье-Стокса в цилиндрических координатах для движения очень вязких жидкостей [3] в трубе:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial r} \right) \quad (1)$$

где $v(r, t)$ – скорость, ρ – плотность, $\frac{\partial P}{\partial z}$ – градиент давления, ν – кинематическая вязкость.

Стационарная задача ($\frac{\partial v}{\partial t} = 0$) коаксиального движения в трубе двухслойной жидкости при открытых клапане и диафрагме ранее была решена [4]. При решении нестационарного уравнения (1) используем зависимость градиента давления, меняющегося со временем по закону [5]:

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} = a |\sin(\omega t)|, \quad (2)$$

а скорость представим как:

$$v(r, t) = |\sin(\omega t)| \cdot U(r), \quad (3)$$

Подставляя (2) и (3) в (1) и выделяя временную часть, получаем:

$$\frac{a + \nu \frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{\nu}{r} \frac{\partial U}{\partial r}}{\omega U} = |\operatorname{ctg}(\omega t)|. \quad (4)$$

Уравнение (4) может иметь решение, если правая его часть равна постоянной величине. В нашем случае примем постоянную

равную нулю.

Окончательно получаем обыкновенное дифференциальное уравнение:

$$\nu \frac{d^2 U}{dr^2} + \frac{\nu}{r} \frac{dU}{dr} + a = 0 \quad (5)$$

уравнение для удобства интегрирования, представим в виде:

$$\frac{d}{dr} \left(r \frac{dU}{dr} \right) + \frac{ar}{\nu} = 0, \quad (6)$$

где $U = \begin{cases} U_1(r), & 0 \leq r \leq R_1, \\ U_2(r), & R_1 \leq r \leq R_2, \end{cases}$

а граничные условия:

$$\begin{cases} U_1(R_1) = U_2(R_1), \\ U_2(R_2) = 0, \\ \mu_1 \frac{dU_1}{dr} \Big|_{R_1} = \mu_2 \frac{dU_2}{dr} \Big|_{R_1}, \end{cases} \quad (7)$$

где μ_1, μ_2 – динамические вязкости.

Решение уравнения (6) с условиями (7) будет иметь следующий вид:

$$U = \begin{cases} \frac{a_1}{4\nu_1} r^2 + C_1 \ln r + C_2, \\ \frac{a_2}{4\nu_2} r^2 + C_3 \ln r + C_4. \end{cases} \quad (8)$$

где $C_1 = 0$ – из условия конечности скорости на оси трубы;

C_3 определяется, исходя из третьего условия (7), C_4 – из второго, C_2 – из первого.

$$\left\{ \begin{array}{l} C_2 = -\frac{1}{4\mu_1} \frac{\partial p_1}{\partial z} R_1^2 + \frac{1}{4\mu_2} \frac{\partial p_2}{\partial z} R_1^2 + \frac{R_1^2}{2} \left(\frac{\partial p_1}{\partial z} - \frac{\partial p_2}{\partial z} \right) \ln R_1 - \frac{1}{4\mu_2} \frac{\partial p_2}{\partial z} R_2^2 - \frac{R_1^2}{2} \left(\frac{\partial p_1}{\partial z} - \frac{\partial p_2}{\partial z} \right) \ln R_2, \\ C_3 = \frac{R_1^2}{2} \left(\frac{\partial p_1}{\partial z} - \frac{\partial p_2}{\partial z} \right), \\ C_4 = -\left[\frac{1}{4\mu_2} \frac{\partial p_2}{\partial z} R_2^2 + \frac{R_1^2}{2} \left(\frac{\partial p_1}{\partial z} - \frac{\partial p_2}{\partial z} \right) \ln R_2 \right]. \end{array} \right. \quad (9)$$

В (9) $\frac{\partial p_1}{\partial z}$ и $\frac{\partial p_2}{\partial z}$ – амплитуды градиентов давлений.

Окончательный вид нахождения скорости истечения жидкостей определяется постановкой (8) и (9) в (3).

Объем жидкости (фарша), протекающий в единицу времени через поперечное сечение трубы, определим по формуле:

$$Q = \frac{2}{\pi} \left(\int_0^{R_1} 2\pi r v_1 dr + \int_{R_1}^{R_2} 2\pi r v_2 dr \right). \quad (10)$$

Коэффициент $\frac{2}{\pi}$ получаем путем усреднения за время одного цикла функции $|\sin(\omega t)|$:

$$\frac{2}{\pi} \int_0^T |\sin(\omega t)| dt = \frac{2}{\pi}. \quad (11)$$

Среднюю скорость течения можно определить по формуле:

$$\bar{v} = \frac{Q}{\pi R_2^2}. \quad (12)$$

Коэффициенты C_2 , C_3 , C_4 , обозначенные в уравнениях (9), находят, исходя из известных параметров процесса и конструктивных размеров коэкструзионной насадки.

В заключение, следует сделать некоторые выводы:

- получены уравнения, описывающие движение в цилиндрической трубе двух соприкасающихся вязкопластичных жидкостей;
- определены выражения для постоянных коэффициентов уравнений движения, зависящих от параметров процесса и конструктивных размеров коэкструзионной насадки.

ЛИТЕРАТУРА

1 Фатыхов, Ю.А. Анализ процесса коэкструдирования при производстве комбинированных фаршевых продуктов [Текст] / Ю.А. Фатыхов, В.Н. Эрлихман, Е.Е. Керевичене // Межвузовский сборник научных трудов КГТУ «Совершенствование технологических процессов и оборудования в линиях пищевых производств». - Калининград: ФГОУ ВПО «КГТУ», 2007. - С. 17-23.

2 Фатыхов, Ю.А. Совершенствование процесса коэкструзии куриной продукции [Текст] / Ю.А. Фатыхов и др. // Известия КГТУ. - 2005. - №7. - С. 86-90.

3 Кочин, Н.Е. Теоретическая гидромеханика в 2-х частях [Текст] / Н.Е. Кочин, И.А. Кибель, Н.В. Розе. - М.: Физматгиз, 1963. - 728 с.

4 Фатыхов, Ю.А. К созданию математической модели процесса коэкструдирования пищевых масс [Текст] / Ю.А. Фатыхов, В.А. Шуманов, В.А. Зарудный // Известия КГТУ. - 2013. - № 29. - С. 16-21.

5 Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. Гидромеханика [Текст] / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. - М.: Наука, 1988. - 736 с.

REFERENCES

1 Fatykhov, Y.A. Analysis of co-extrusion in the production process of combined minced products [Text] / Y.A. Fatykhov, V.N. Erlikhman, E.E. Kerevichene // Interuniversity collection of scientific papers KSTU "Improving processes and equipment in the lines of food production". - Kaliningrad: KSTU, 2007. - P. 17-23.

2 Fatykhov, Y.A. Improving the process of co-extrusion of chicken products [Text] / Y.A. Fatykhov et al // News of KSTU. - 2005. - № 7. - P. 86-90.

3 Cochinn, N.E. Theoretical fluid mechanics in 2 parts [Text] / N.E. Cochinn, I.A. Kibel, N.V. Rose. - M.: Fizmaggiz, 1963. - 728 p.

4 Fatykhov, Y.A. Towards the creation a mathematical model of the co-extrusion process of food masses [Text] / Y.A. Fatykhov, V.A. Shumanov, V.A. Zarudny // News of KSTU. - 2013. - № 29. - P. 16-21.

5 Landau, L.D. Theoretical physics. Fluid [Text] / L.D. Landau, E.M. Lifschitz. - M.: Nauka, 1988. - 736 p.

УДК 664.8/9

Исполняющий обязанности директора А.И. Потапов
(ООО «РЕТА»)

директор А.Н. Рязанов
(ООО НПП «АГК-ТК»)

доцент А.С. Белозерцев, доцент А.В. Прибытков
(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра машин и аппаратов пищевых производств,
тел. (473) 255-38-96

Разработка конструкции лиофильной сушилки для термолабильных продуктов

В статье представлены способ и конструкции вакуум-сублимационных сушилок для обезвоживания жидких и пастообразных термолабильных продуктов.

The article presents method and construction of vacuum freeze driers for dehydration of liquid and paste thermolabile products.

Ключевые слова: вакуум-сублимационная (лиофильная) сушка, испарительное самозамораживание, СВЧ-энергоподвод.

Вакуум-сублимационная или лиофильная сушка, т. е. высушивание материалов в замороженном состоянии под вакуумом, является одним из наиболее прогрессивных методов обезвоживания термолабильных пищевых продуктов и микробиологических материалов, который позволяет обеспечить максимальное сохранение большинства первоначальных свойств продуктов в процессе их получения и длительного хранения. Однако сублимационная (лиофильная) сушка не нашла широкого применения из-за сравнительно высокой стоимости получаемых продуктов за счет длительности и энергоемкости процесса в ее традиционном виде [1, 4].

Одним из направлений интенсификации процесса вакуум-сублимационной (лиофильной) сушки является создание развитой высокопористой структуры продукта с целью увеличения площади поверхности сублимации влаги. Однако при этом затрудняется подвод энергии традиционными способами к внутренним слоям продукта (кондуктивный и, в меньшей степени, ИК-нагрев). Поэтому для обеспечения равномерного нагрева продукта наиболее целесообразным является применение сверхвысокочастотной энергии. Как известно, характер СВЧ-нагрева позволяет резко интенсифицировать процессы тепло- и массообмена, так как прогрев продукта происходит по всему объему. Сушка является тем процессом, в котором преимущество СВЧ-энергии проявляется наиболее ярко,

при этом предпочтение отдается установкам непрерывного действия. Поэтому применение сверхвысокочастотного нагрева для интенсификации процесса вакуум-сублимационной сушки пищевых продуктов является перспективным направлением на пути устранения вышеперечисленных недостатков в совокупности с организацией процесса в непрерывном режиме. В то же время, создание установок непрерывного действия затруднено высокой степенью сложности конструкций, низкой надежностью и трудностями при загрузке и выгрузке высушиваемого продукта в вакуумной камере сублимационной сушилки.

Предлагаемые далее способ и конструкции вакуум-сублимационных сушилок для обезвоживания жидких и пастообразных продуктов с СВЧ-энергоподводом позволяют комплексно решить проблему интенсификации процесса при получении продукта высокого качества и минимальных затратах энергии и времени [2, 3].

Поставленная задача достигается тем, что продукт выдавливают методом экструзии непосредственно в сублимационную камеру в зону с давлением выше тройной точки с образованием высокоразвитой равномерно распределенной пористой структуры и с последующим испарительным замораживанием продукта (экструдата) в зоне с давлением ниже тройной точки, который параллельно подвергают сублимационной сушке в сверхвысокочастотном поле. При этом паровой затвор создается за счет паров, образованных в результате интенсивного испарения влаги в

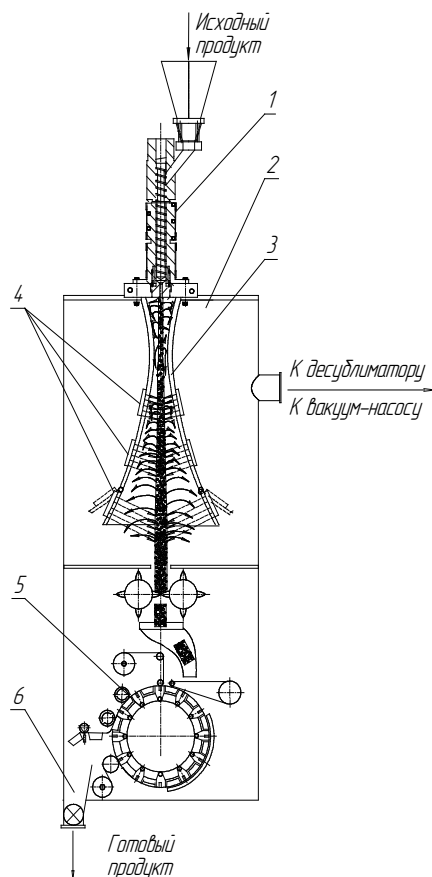


Рисунок 1 - Вакуум-сублимационная сушилка с СВЧ-энергоподводом

зоне подачи продукта, а упаковку высушенного продукта осуществляют непосредственно в сублиматоре вне зоны действия СВЧ энергии с его последующим удалением через шлюзовой затвор. Установка для получения сублимированных пищевых продуктов состоит из устройства подачи продукта в вакуумную камеру сушилки; парового затвора; сублимационной камеры с источниками энергии; выносного десублиматора и шлюзового затвора для выгрузки готового продукта из сушилки. Новизна установки заключается в том, что вокруг выходного отверстия вертикально расположенного устройства подачи продукта в вакуумную камеру в виде экструдера установлен паровой затвор, разделяющий зоны подачи продукта в вакуум и его сушки, канал которого имеет форму сопла Лавалья, снабженный источниками СВЧ энергии (магнетронами) с самой узкой части сопла до его нижней кромки, причем на нижней образующей сопла магнетроны установлены с возможностью изменения угла наклона, а делительно-упаковочное устройство установлено непосредственно после зоны действия магнетронов.

На рисунке 1 представлен общий вид установки для осуществления непрерывного способа получения сублимированных пищевых продуктов с СВЧ-энергоподводом. Установка для получения сублимированных пищевых продуктов состоит из экструдера 1; сублимационной камеры 2 с насадкой в форме сопла Лавалья 3 и источниками СВЧ энергии 4 (магнетронами); делительно-упаковочного устройства 5; шлюзового затвора 6 для выгрузки готового продукта из сушилки и выносного десублиматора (не показан).

Способ получения сублимированных пищевых продуктов заключается в следующем. Исходный продукт подается в загрузочное устройство предварительно включенного экструдера 1, на выходе из которого экструдат поступает в зону с давлением выше тройной точки устройства 3 сублимационной камеры 2, которое создается за счет испарения влаги из продукта. Полученный жгут продукта перемещается в зону с давлением ниже тройной точки устройства 3, где параллельно с испарительным замораживанием экструдата продукт подвергают сублимационной сушке в поле СВЧ энергии с окончательным образованием высокопористой равномерно распределенной пористой структуры за счет интенсивного сублимирования влаги. Разделение на зоны с различным давлением достигается благодаря тому, что создается гидравлическое сопротивление потоку паров и неконденсирующихся газов в кольцевом зазоре между жгутом продукта и соплом Лавалья в его узкой части, и как следствие, повышение давления выше тройной точки в зоне выхода продукта из экструдера 1. Высушенный жгут продукта подается в делительно-упаковочное устройство 5 и выгружается из установки посредством шлюзового затвора 6.

Предлагаемый способ и установка имеют следующие преимущества:

- экструдирование продукта непосредственно в сублимационную камеру в зону с давлением выше тройной точки обеспечивает предотвращение замерзания продукта на выходе из экструдера и образование жгута продукта пористой структуры;

- осуществление сублимации влаги из экструдата в сверхвысокочастотном поле с его одновременным испарительным замораживанием значительно ускоряет процесс сублимационной сушки и позволяет снизить энергозатраты на ее проведение;

- осуществление упаковки высушенного продукта непосредственно в сублимационной

камере исключает возможность его контакта с влажным атмосферным воздухом;

- использование СВЧ энергии для сублимационной сушки продукта с пористой развитой структурой позволяет обеспечить адресное и равномерное получение энергии всеми частями продукта.

На рисунке 2 представлена конструкция установки для вакуум-сублимационной (лиофильной) сушки термолabileльных продуктов,

состоящая из пресса (экструдера) 1; корпуса сублимационной сушилки 2 со съемными дверцами 3, 16 и насадкой в форме сопла Лавала 4; формирующих роликов-укладчиков 5; делителя 7; пластинчатого конвейера 6; основного волновода 10 с запредельными волноводами 9, 17 и магистралью 13 для подключения согласованной нагрузки; валцов 14 и шлюзового затвор 15. Подвод энергии осуществляется посредством магнетронов 11 и диэлектрических линз 12.

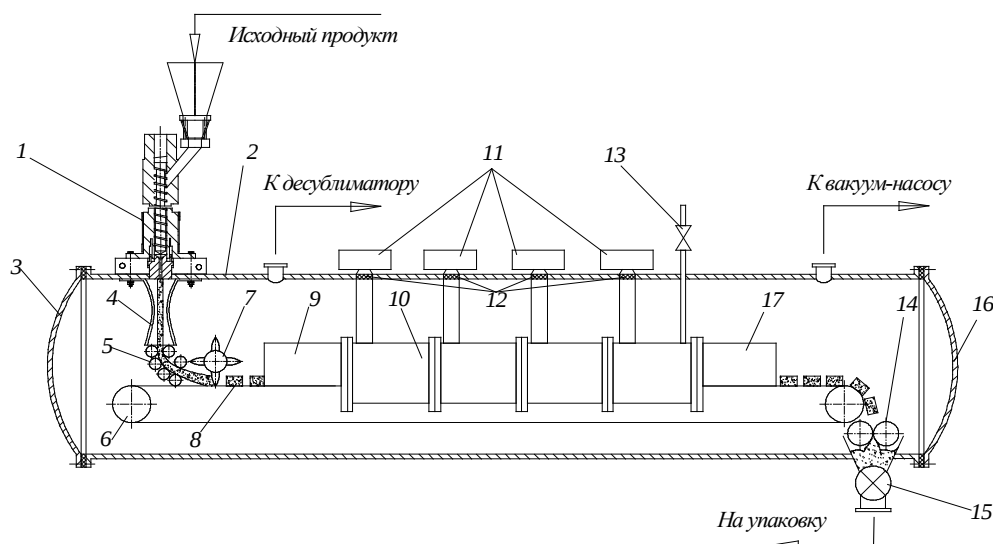


Рисунок 2 – Схема вакуум-сублимационной сушилки с СВЧ-энергоподводом:

- 1 – пресс; 2 – корпус сушилки; 3, 16 – дверцы; 4 – насадка; 5 – формирующие ролики-укладчики; 6 – конвейер; 7 – делитель; 8 – продукт; 9, 17 – запредельный волновод; 10 – волновод; 11 – магнетроны; 12 – диэлектрические линзы; 13 – трубопровод для подключения согласованной нагрузки; 14 – валцы; 15 – шлюзовой затвор.

Вакуум-сублимационная сушилка работает следующим образом. Исходный продукт подается в загрузочное устройство предварительно включенного пресса (экструдера) 1, на выходе из которого экструдат поступает в зону с давлением выше тройной точки устройства 4 сублимационной камеры 2, которое создается за счет испарения влаги из продукта. Полученный жгут продукта перемещается в зону с давлением ниже тройной точки устройства 4, где происходит его укладка на пластинчатый конвейер 6, выполненный из радиопрозрачного материала (например, фторопласта) посредством роликов-укладчиков 5 и деление его на части определенной равной длины устройством 7 параллельно с испарительным самозамораживанием экструдата с окончательным образованием высокоразвитой равномерно распределенной пористой структуры за счет интенсивного сублимирования влаги. Разделение на зоны с различным давлением достигается благодаря тому, что создается гидравличе-

ское сопротивление потоку паров и неконденсирующихся газов в кольцевом зазоре между жгутом продукта и соплом Лавала 4 в его узкой части, и как следствие, повышение давления выше тройной точки в зоне выхода продукта из пресса (экструдера) 1. Равные по длине и форме самозамороженные куски жгута продукта подаются через запредельный волновод 9 в волновод 10 во избежание утечки электромагнитной энергии в свободное пространство корпуса сушилки 2, где происходит его вакуум-сублимационная сушка в поле токов сверхвысокой частоты. Причем волновод 10 состоит из отдельных перфорированных секций с диаметром отверстий, исключающим утечку энергии, каждая из которых имеет собственный независимый источник СВЧ-энергии (магнетрон) 11. Ввод энергии в секции волновода 10 осуществляется через диэлектрические линзы 12. Для поглощения СВЧ-энергии в отсутствие обрабатываемого продукта или при неполной загрузке конвейера установка имеет

магистраль 13 для подключения специальной поглощающей согласованной нагрузки (на схеме не показана). Поглощение СВЧ-энергии в этой нагрузке осуществляется водой, прокачиваемой через рабочую полость нагрузки. Далее высушенный продукт подается на вальцы 14, где происходит его дробление и посредством шлюзового затвора 15 выгружается из сушилки и поступает на упаковку.

Предлагаемая сушилка непрерывного действия с СВЧ-энергоподводом позволяет:

- проводить процесс сублимации влаги из экструдата в сверхвысокочастотном поле с его одновременным испарительным замораживанием, что значительно ускоряет процесс сублимационной сушки и снижает энергозатраты на ее проведение;

- повысить качество готового продукта за счет избирательного посекционного регулирования мощности магнетронов в зависимости от свойств объекта и периода сушки;

- проводить процесс вакуум-сублимационного обезвоживания в непрерывном режиме.

При сушке предлагаемым способом жидких продуктов не представляется возможным обеспечить получение продукта с заданными свойствами, а именно с развитой однородно-пористой структурой из-за его бурного кипения, разбрызгивания и получения им неопределенной формы и размеров в процессе испарительного самозамораживания. Данный недостаток ведет к увеличению энергозатрат на проведение процесса и снижению качества готового продукта из-за неоднородного (селективного) воздействия СВЧ-энергии, что может приводить к перегреву одних слоев и недосушиванию других. С целью устранения перечисленных недостатков предлагается способ ввода жидких продуктов с низким содержанием сухих веществ в сублимационную камеру лиофильной сушилки (рисунок 3).

Ввод продукта осуществляется следующим образом: предварительно приводится во вращение нагнетающий шнек центрального канала и его корпус, но вращаются они в противоположные стороны.

Исходный продукт с высоким содержанием сухих веществ (например 50-70 %) подается в периферийный коаксиальный канал 5, в котором под действием усилия витков шнека 4 корпуса 3 он перемещается к входу в вакуумную камеру сублимационной сушилки.

При поступлении по коаксиальному периферийному каналу 5 продукта с высоким содержанием сухих веществ (например 50-70 %) в

вакуумную камеру сушилки из него начинает интенсивно испаряться влага, пары которой позволяют создать паровой затвор в узкой части сопла Лавали и образовать зону с остаточным давлением около тройной точки, но не ниже ее (например 611-620 Па), обеспечивающую исключение блокировки самозамороженным продуктом каналов 1 и 5 экструдера. В связи с высоким содержанием сухих веществ, т.е. малым количеством влаги в этом продукте, происходит под действием разряжения быстрое его обезвоживание, уплотнение и образование трубчатого подсыхшего каркаса (рисунок 3).

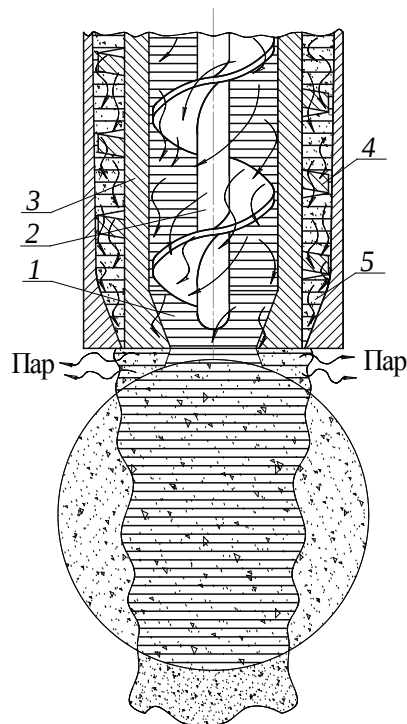


Рисунок 3 - Экструдер и схема формирования структуры продукта:

1 – центральный канал; 2 – шнек; 3 – корпус экструдера; 4- витки шнека; 5 – периферийный коаксиальный канал

При достижении трубчатого подсыхшего каркаса узкой части сопла Лавали и входа в зону самозамораживания с остаточным давлением ниже тройной точки (например, 100-609 Па) во внутреннюю его полость посредством нагнетающего шнека 2 по центральному каналу 1 подается продукт с низким содержанием сухих веществ (например, 3-10 %). Во внутренней полости трубчатого каркаса продукт с низким содержанием сухих веществ вскипает и образует пенную структуру, которая в зоне с остаточным давлением ниже тройной точки самозамораживается с получением высокоразвитой равномерно распределенной пористой структуры.

Сформированный жгут продукта перемещается в зону действия поля сверхвысокочастотной энергии, где одновременно с испарительным замораживанием продукт подвергают сублимационной сушке при рабочем остаточном давлении (например, 50-100 Па) с окончательным образованием высокоразвитой равномерно распределенной пористой структуры за счет интенсивного сублимирования влаги.

Работа выполнена в рамках ФЦП "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы" по Государственному контракту № 14.512.11.0078 от 20.06.2013 года. Статья подготовлена по результатам работ, выполненных на оборудовании ЦКП "КУЭП".

ЛИТЕРАТУРА

1 Гуйго, Э.И. Сублимационная сушка в пищевой промышленности [Текст] / Э.И. Гуйго, Н.К. Журавская, Э.И. Каухчешвили. – М.: Пищевая промышленность, 1972. – 434 с.

2 Лебедев, Д.П. Тепло- и массообмен в процессах сублимации в вакууме [Текст] / Д.П. Лебедев, Т.Л. Перельман. – М.: Энергия, 1973. – 336 с.

3 Некрутман, С.В. Диэлектрические свойства пищевых продуктов на частоте 2375 МГц [Текст] / С.В. Некрутман // Электронная обработка материалов. – 1973. - №4. - С. 82-84.

4 Николаенко, С.В. Повышение эффективности сублимационной сушки ферментных препаратов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж, 1990.

REFERENCES

1 Guygo, E.I. Freeze drying in the food industry [Text] / E.I. Guygo, N.K. Zhuravskaya, E.I. Kauhcheshvili. – M.: Pishhevaya promyshlennost, 1972. - 434 p.

2 Lebedev, D.P. Heat and mass transfer in the process of sublimation in vacuum [Text] / D.P. Lebedev, T.L. Perelman. – M.: Energiya, 1973. - 336 p.

3 Nekrutman, S.V. Dielectric properties of food at a frequency of 2375 MHz [Text] / S.V. Nekrutman // Electronic processing of materials. - 1973. - № 4. - P. 82-84.

4 Nikolaenko, S.V. Improving the efficiency of freeze-dried enzyme preparations [Text]: abst. dis. ... PhD. - Voronezh, 1990.

УДК 519.673, 664.649

Профессор А.Н. Остриков, студент И.Н. Столяров

(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра процессов и аппаратов химических и пищевых производств, тел. (473) 255-38-87

Математическая модель процесса обжарки каштанов перегретым паром

Выполнено математическое моделирование процесса обжарки каштанов перегретым паром. Для описания процесса применены коэффициенты диффузии и термодиффузии. Заданы начальные и граничные условия третьего рода для уравнений теплопроводности и массопереноса.

The mathematic modeling for chestnuts roasting process by superheated steam is conducted. Diffusion and thermal diffusion coefficients are used for process description. Initial conditions and boundary conditions of the third kind for thermal conductivity and mass transfer equations are set.

Ключевые слова: математическая модель, обжарка, каштаны.

Для получения полной картины протекания процесса обжарки, инженерных расчетов и проектирования оборудования важно создание математической модели. Определение рациональных параметров обжарки дает возможность интенсифицировать процесс и снизить энергозатраты.

Рассмотрим математическую модель процесса обжарки перегретым паром плодов каштана европейского, разрезанных на кубики с размером $a = 3 \dots 5$ мм. Она может быть рассмотрена для слоя частиц, имеющих форму куба с эквивалентным диаметром $d_{\text{экв}}$. Принимая это допущение, эквивалентный диаметр частицы определяем по формуле:

$$d_{\text{экв}} = 2a_c \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}}, \quad (1)$$

где a_c – линейный размер частицы каштана, м.

Основной задачей изучения теплопроводности и диффузии влаги является изучение пространственно-временного изменения температуры и влагосодержания или температурного поля и поля влагосодержания соответственно в объеме слоя частиц каштана.

Теплоноситель, перегретый пар, представляет собой среду процесса обжарки, температура которой принимается постоянной $T = 473$ К. Частицы каштана в начале процесса обжарки имеют начальную температуру T_n , К, и влагосодержание u_n , кг/кг, равномерно распределенные по объему частицы.

Рассматриваемый процесс обжарки частиц каштана является типичным нестационарным. В условиях взаимодействия частиц твердой фазы с теплоносителем изменяются концентрация влаги и температура в каждой частице как по координатам, так и по времени. Средняя по объему частиц концентрация распределяемого вещества, характеризующаяся влагосодержанием, кг влаги/кг продукта, и температура в каждый момент времени определяются интегралами:

$$U(\tau) = \frac{1}{V} \int_{(V)} U(X, \tau) dV, \\ T(\tau) = \frac{1}{V} \int_{(V)} T(X, \tau) dV, \quad (2)$$

где V – объем частиц, м³; $X = (x, y, z)$ – координата точки в объеме частиц; U – влагосодержание, кг/кг; T – температура, К.

Поскольку распределение температуры и влагосодержания является постоянным по длине и ширине слоя продукта, то координата точки определяется ее высотой: $X = x$.

Рассмотрим процессы теплопереноса от перегретого пара к слою продукта и влагопереноса, протекающего в обратном направлении.

Коэффициент диффузии влаги (коэффициент потенциалопроводности переноса влаги, коэффициент турбулентной теплопроводности), $\text{м}^2/\text{с}$, вычисляется аналогично коэффициенту теплопроводности:

$$a_m = \frac{\lambda_m}{c_m \rho}, \quad (3)$$

где λ_m – коэффициент влагопроводности (турбулентная теплопроводность), $(\text{м}\cdot\text{с})^{-1}$; c_m – коэффициент массоемкости, кг^{-1} .

Коэффициенты диффузии a_m и термодиффузии a_m^T влажных тел связывает относительный коэффициент термодиффузии [1, 2]:

$$\delta = \frac{a_m^T}{a_m} \quad (4)$$

Величины a_m и δ являются функциями влагосодержания и температуры [1, 2]. Рассмотрим частицу каштана как коллоидное капиллярно-пористое тело; связанное вещество жидкость – пар.

$$a_m = a_{mcap} + a_{mk} \quad (5)$$

$$a_m^T = a_{mcap}^T + a_{mk}^T \quad (6)$$

$$\delta = \frac{\delta_{cap} \cdot a_{mcap} + \delta_k \cdot a_{mk}}{a_{mcap} + a_{mk}} \quad (7)$$

До достижения продуктом температуры 373 К (до перехода влаги из жидкого в газообразное состояние) удельная теплоемкость вычисляется по формуле:

$$c = c_0 + c_1 u_1, \quad (8)$$

а после:

$$c = c_0 + c_2 u_2, \quad (9)$$

где c_0 – удельная теплоемкость абсолютно сухого продукта, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; c_1 – удельная теплоемкость пара, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; c_2 – удельная теплоемкость воды, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ (обозначение индексов: $i = 1$ – парообразная влага; $i = 2$ – жидкообразная влага).

При описании процесса обжарки каштанов были приняты следующие допущения: частицы каштана рассматриваются в виде куба; геометрическая форма обжариваемого продукта постоянна; начальное распределение темпе-

ратуры и влагосодержания по объему обжариваемого продукта постоянны; плотность потока теплоты и массы постоянны; разбиение на зоны позволяет достигать требуемой точности расчета температуры и влажности продукта.

Начальные условия:

$$T(x, \tau)|_{x=0} = 0,0012\tau^4 + 0,0807\tau^3 - 1,8278\tau^2 + 18,555\tau + 295,39 \quad (10)$$

$$u(x, \tau)|_{x=0} = 8 \cdot 10^{-5} \tau^2 - 0,0195\tau + 0,6813 \quad (11)$$

$$T(x, \tau)|_{\tau=0} = T_n \quad (12)$$

$$u(x, \tau)|_{\tau=0} = u_n \quad (13)$$

Граничные условия третьего рода: для уравнения теплопроводности

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=X(\tau)} = \alpha (T_{np} - T_n) \quad (14)$$

для уравнения массопереноса

$$-a_m \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=X(\tau)} = \beta (T_{np} - T_n) \quad (15)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$; T_{np} , T_n – температуры продукта и перегретого пара, К; β – коэффициент массоотдачи, $\text{м}/\text{с}$:

$$\beta = \frac{\text{Nu } a_m}{d_{\text{экв}}}, \quad (16)$$

где Nu – критерий Нуссельта; $d_{\text{экв}}$ – эквивалентный диаметр частицы каштана, м.

Поскольку течение теплоносителя является ламинарным, то критерий Нуссельта определяется по формуле:

$$\text{Nu} = 0,15 \text{Re}^{0,33} \text{Pr}^{0,43} \text{Gr}^{0,1} \left(\frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_{cm}} \right)^{0,25} \varepsilon_l, \quad (17)$$

где Re – критерий Рейнольдса; Pr – критерий Прандтля; Pr_{cm} – критерий Прандтля для теплоносителя при температуре стенки; Gr – критерий Грасгофа; ε_l – коэффициент, зависящий от критерия Рейнольдса, линейного размера частицы и ее эквивалентного диаметра.

$$\text{Pr} = \frac{c_n \mu_n}{\lambda_n}, \quad (18)$$

где c_n – удельная теплоемкость перегретого пара, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; μ_n – динамическая вязкость перегретого пара, $\text{Па}\cdot\text{с}$; λ_n – коэффициент теплопроводности перегретого пара, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

$$Gr = \frac{g d_{\text{экв}}^3 \rho_n^2}{\mu_n^2} \beta_n \Delta T, \quad (19)$$

где ρ_n – плотность перегретого пара, кг/м³; β_n – коэффициент температурного расширения перегретого пара, К⁻¹; ΔT – разница температур теплоносителя и стенки, К.

Полученная система уравнений (10-15) представляет собой математическую модель процесса обжарки каштанов.

Поскольку в процессе обжарки продукт изменяется в объеме, задачу (14-15) необходимо рассматривать, как задачу с подвижными границами [3, 4]. Вследствие усадки продукта высота его слоя h , м, изменяется в зависимости от времени τ , с, по следующему закону:

$$h = (2 \cdot 10^{-6} \tau^2 - 0,0121\tau + 30,8) \cdot 10^{-3}. \quad (20)$$

Влагоперенос парообразной ($i=1$) и жидкообразной ($i=2$) влаги описывается следующими соотношениями [1, 2]:

$$\vec{j}_i = a_{mi} \rho_0 \nabla u - a_{mi}^T \rho_0 \nabla T = -a_{mi} \rho_0 (\nabla u + \delta_i \nabla T) \quad i = 1, 2, \quad (21)$$

а суммарный перенос пара и влаги равен:

$$\vec{j} = \vec{j}_1 + \vec{j}_2 = -a_m \rho_0 \nabla u - a_m^T \rho_0 \nabla T = -a_m \rho_0 (\nabla u + \delta \nabla T). \quad (22)$$

Следовательно, система дифференциальных уравнений массопереноса будет иметь вид:

$$\rho_0 \frac{\partial u_1}{\partial \tau} = -\text{div} \vec{j}_1 + J_1, \quad (23)$$

$$\rho_0 \frac{\partial u_2}{\partial \tau} = -\text{div} \vec{j}_2 + J_2, \quad (24)$$

Суммируя (23) и (24), получаем:

$$\rho_0 \frac{\partial u}{\partial \tau} = -\text{div} \vec{j}_1 - \text{div} \vec{j}_2, \quad (25)$$

Подставив вместо $\vec{j}_1$ и $\vec{j}_2$ соответствующие выражения, получим:

$$\rho_0 \frac{\partial u_2}{\partial \tau} = -\text{div} [a_{m1} \rho_0 \nabla u + a_{m1}^T \rho_0 \nabla T] + \text{div} [a_{m2} \rho_0 \nabla u + a_{m2}^T \rho_0 \nabla T] \quad (26)$$

Дифференциальное уравнение переноса теплоты будет иметь вид:

$$c \rho_0 \frac{\partial T}{\partial \tau} = \text{div} (\lambda \nabla T) + r_{12} J_{12} - \sum_i c_i \vec{j}_i \nabla T, \quad (27)$$

где r_{12} – теплота парообразования, Дж/(кг·К).

Источник жидкости $J_2 = J_{12}$ определяется из уравнения (25), для чего полагаем $\partial u_1 / \partial \tau = 0$:

$$J_2 = J_{12} = -J_1 = -\text{div} \vec{j}_1. \quad (28)$$

Следовательно:

$$c \rho_0 \frac{\partial T}{\partial \tau} = \text{div} (\lambda \nabla T) + r_{12} \text{div} (a_{m1} \rho_0 \nabla u + a_{m1}^T \rho_0 \nabla T) - \sum_i c_i \vec{j}_i \nabla T \quad (29)$$

Для зональной системы расчета [5], когда для каждого интервала (зоны) u и T коэффициенты переноса λ , a_{m1} , a_{m2} , a_{m1}^T , a_{m2}^T полагаем постоянными, система дифференциальных уравнений тепломассопереноса будет иметь вид:

$$\frac{du}{d\tau} = a_m \nabla^2 u + a_m^T \nabla^2 T = a_m [\nabla^2 u + \delta \nabla^2 T] \quad (30)$$

$$\frac{dT}{d\tau} = \left(a + a_{m1} \frac{r_{12}}{c} \right) \nabla^2 T + a_{m1} \frac{r_{12}}{c} \nabla^2 u - \left[(c_1 a_{m1} + c_2 a_{m2}) \nabla u + (c_1 a_{m1}^T + c_2 a_{m2}^T) \nabla T \right] \frac{\nabla T}{c} \quad (31)$$

Так как перенос вещества происходит только в одном направлении, то градиент будет являться дифференциалом по координате x :

$$\frac{du}{d\tau} = a_m \frac{d^2}{dx^2} u + a_m^T \frac{d^2}{dx^2} T = a_m \left[\frac{d^2}{dx^2} u + \delta \frac{d^2}{dx^2} T \right] \quad (32)$$

$$\frac{dT}{d\tau} = \left(a + a_{m1} \frac{r_{12}}{c} \right) \frac{d^2}{dx^2} T + a_{m1} \frac{r_{12}}{c} \frac{d^2}{dx^2} u - \left[(c_1 a_{m1} + c_2 a_{m2}) \frac{du}{dx} + (c_1 a_{m1}^T + c_2 a_{m2}^T) \frac{dT}{dx} \right] \frac{dT}{c} \quad (33)$$

Дифференциалы, расписанные через правые конечно-разностные отношения:

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{T_{i+1} - T_i}{\Delta t} \quad (34)$$

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_{i+1} - T_i}{\Delta x} \quad (35)$$

$$\frac{d^2 T}{dx^2} = \frac{T_{i+1} - 2T_i + T_{i-1}}{\Delta x^2} \quad (36)$$

$$\frac{du}{d\tau} = \frac{u_{i+1} - u_i}{\Delta t} \quad (37)$$

$$\frac{d^2 u}{dx^2} = \frac{u_{i+1} - 2u_i + u_{i-1}}{\Delta x^2} \quad (38)$$

Поставленная задача может быть решена методом конечно-разностной схемы, реализуемым через метод сетки. Это требует разработки программного модуля расчета, что позволяют сделать современные среды, применяемые для моделирования (Maple, MathCAD, Matlab).

Используя приведенные выше переходы от дифференциальных уравнений к записи уравнений в конечно-разностной форме, исходные дифференциальные уравнения (7), (8) преобразуют к виду:

$$\begin{aligned} \frac{u_{n+1,k} - u_{n,k}}{\Delta t} &= a_m \frac{u_{n,k+1} - 2u_{n,k} + u_{n,k-1}}{\Delta x^2} + \\ &+ a_m^T \frac{T_{n,k+1} - 2T_{n,k} + T_{n,k-1}}{\Delta x^2} = \\ &= \frac{u_{n,k+1} - 2u_{n,k} + u_{n,k-1}}{\Delta x^2} a_m + \\ &+ \delta a_m \frac{T_{n,k+1} - 2T_{n,k} + T_{n,k-1}}{\Delta x^2} \end{aligned} \quad (39)$$

$$\begin{aligned} \frac{T_{n+1,k} - T_{n,k}}{\Delta t} &= \left(a + a_{m1} \frac{r_{12}}{c} \right) \frac{T_{n,k+1} - 2T_{n,k} + T_{n,k-1}}{\Delta x^2} + \\ &+ a_{m1} \frac{r_{12}}{c} \frac{u_{n,k+1} - 2u_{n,k} + u_{n,k-1}}{\Delta x^2} - \\ &- (c_1 a_{m1} + c_2 a_{m2}) \left(\frac{u_{n,k+1} - u_{n,k}}{\Delta x} \right) \frac{T_{n,k+1} - T_{n,k}}{c} - \\ &- (c_1 a_{m1}^T + c_2 a_{m2}^T) \left(\frac{T_{n,k+1} - T_{n,k}}{\Delta x} \right) \frac{u_{n,k+1} - u_{n,k}}{c} \end{aligned} \quad (40)$$

где n – шаг разбиения по времени; k – шаг разбиения по координате.

После выражения из уравнений (39), (40) значений влагосодержания и температуры на следующем шаге квантования по времени через предыдущий получим:

$$\begin{aligned} u_{n+1,k} &= u_{n,k} + a_m dt \frac{u_{n,k+1} - 2u_{n,k} + u_{n,k-1}}{dx^2} + \\ &+ a_m^T dt \frac{T_{n,k+1} - 2T_{n,k} + T_{n,k-1}}{dx^2} \end{aligned} \quad (41)$$

$$\begin{aligned} T_{n+1,k} &= T_{n,k} + dt \left(a + a_{m1} \frac{r_{12}}{c} \right) \frac{T_{n,k+1} - 2T_{n,k} + T_{n,k-1}}{dx^2} + \\ &+ dt a_{m1} \frac{r_{12}}{c} \frac{u_{n,k+1} - 2u_{n,k} + u_{n,k-1}}{dx^2} - \\ &- (c_1 a_{m1} + c_2 a_{m2}) \left(\frac{u_{n,k+1} - u_{n,k}}{dx} \right) \frac{(T_{n,k+1} - T_{n,k}) dt}{dx c} - \\ &- (c_1 a_{m1}^T + c_2 a_{m2}^T) \left(\frac{T_{n,k+1} - T_{n,k}}{dx} \right) \frac{(u_{n,k+1} - u_{n,k}) dt}{dx c} \end{aligned} \quad (42)$$

В полученных дифференциальных уравнениях температура и влагосодержание представлены в безразмерном виде, т. е. определяются как отношение текущей величины к ее начальному значению ($T_n = 293$ К; $u_n = 0,43$ кг/кг).

На термодинамические характеристики процесса оказывает влияние температура продукта [1]:

$$a_m = 2,1 \cdot 10^{-15} T_{n,k}^3 \quad (43)$$

$$a_{m1} = 0,3 \cdot 10^{-19} T_{n,k}^3 \quad (44)$$

Зависимости коэффициентов теплопроводности a и теплопроводности λ от температуры T выведены эмпирически.

Значения теплофизических характеристик каштанов для интервала температур 293...353 К:

при $u_n = 0,43$ кг/кг:

$$\lambda = 0,137 + 0,0002t; \quad (45)$$

$$a = (4,08 + 0,0037t) \cdot 10^{-8}. \quad (46)$$

при $u_k = 0,04$ кг/кг (обжаренный продукт):

$$\lambda = 0,084 + 0,0002t; \quad (47)$$

$$a = (3,9 + 0,0036t) \cdot 10^{-8}. \quad (48)$$

Коэффициент a_{m2} и относительный коэффициент термодиффузии δ от температуры зависят незначительно [6], поэтому в расчетах они приняты постоянными: $a_{m2} = 0,4 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $\delta = 1,149 \cdot 10^{-3}$.

Влагосодержание оказывает незначительное влияние на термодинамические коэффициенты [7], которым можно пренебречь.

Метод конечно-разностной схемы в явном виде реализуется через метод сетки [3, 8]. Суть метода сетки заключается в том, что вся заданная пространственно-временная область разбивается на равные интервалы времени и пространства через выбранные интервалы дискретизации Δt и Δx , и затем находятся значения интересующего нас параметра в каждом узле сетки. Решение поставленной задачи требует представления исходного дифференциального уравнения в виде конечно-разностных отношений (39), (40).

Значения температуры и влагосодержания на каждом следующем шаге по времени вычисляются по схеме (рисунок 1).

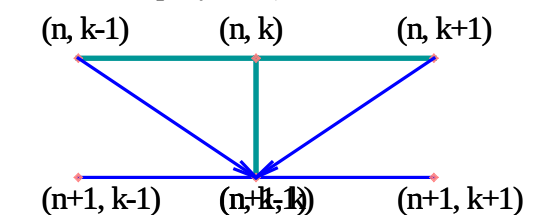


Рисунок 1 – Шеститочечная явная схема

Задача (41–42) представляет собой краевую задачу тепло- и массопроводности с одной статичной и одной движущейся границей [2, 4] и решена с использованием функциональных преобразований методом конечных разностей [9]. Разработан программный модуль расчета процесса обжарки каштанов перегретым паром в системе *Mathcad 15*.

Поверхности, отражающие изменение температуры T , К, и влагосодержания u , кг/кг, по ходу процесса τ , мин, и по слоям продукта, представлены на рисунках 2 и 3.

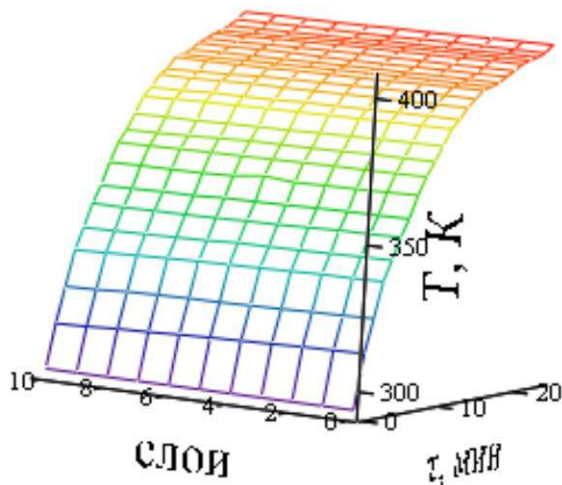


Рисунок 2 - Поверхность изменения температуры по ходу процесса и по слоям продукта

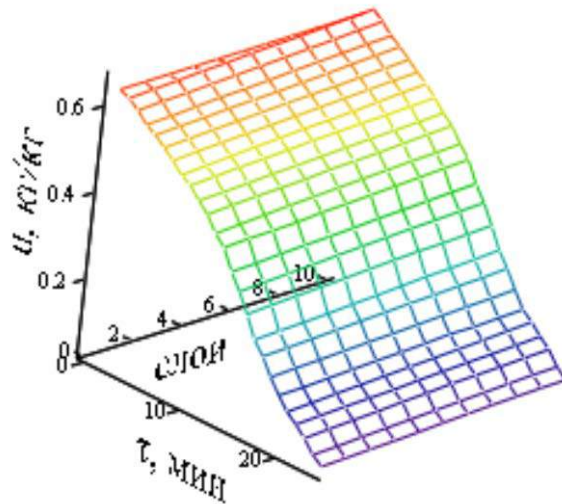


Рисунок 3 - Поверхность изменения влагосодержания по ходу процесса и по слоям продукта

По сравнительному анализу результатов аппроксимации расчетных и экспериментальных данных (рисунки 4, 5) установлено, что их отклонение по абсолютному значению не превышало для температуры 3,5 % и для влагосодержания 11,0 %.

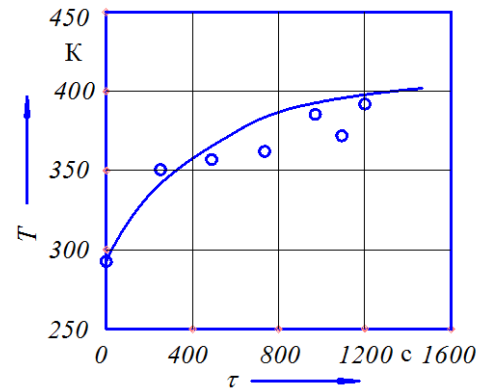


Рисунок 4 - Термограмма тепломассопереноса при обжарке каштанов: сравнение расчетных (—) и экспериментальных (o) данных при обжарке перегретым паром, $T_{II} = 473$ К; $q_{II} = 9,8$ кг/м²; $v = 1,3$ м/с

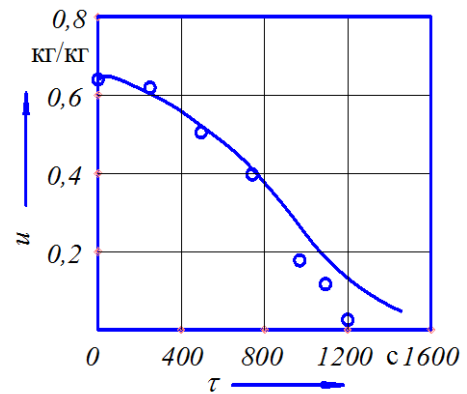


Рисунок 5 - Кривая обжарки каштанов: сравнение расчетных (—) и экспериментальных (o) данных при обжарке перегретым паром, $T_{II} = 473$ К; $q_{II} = 9,8$ кг/м²; $v = 1,3$ м/с

Таким образом, полученные результаты моделирования с достаточной для инженерных расчетов точностью отражают кинетические закономерности процесса обжарки каштанов перегретым паром как объекта с распределенными параметрами и могут быть использованы для анализа протекающих физико-химических изменений, расчета процесса, проектирования обжарочных аппаратов и разработки программно-логических алгоритмов управления технологическими параметрами.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Лыков, А.В. Тепломассообмен [Текст] / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1978. – 479 с.
- 2 Лыков, А. В. Теория сушки [Текст] / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 470 с.
- 3 Грачев, Ю. П. Моделирование и оптимизация тепло- и массообменных процессов пищевых производств [Текст] / Ю.П. Грачев, А.К. Тубольцев, В.К. Тубольцев. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 216 с.

4 Остапчук, Н.В. Основы математического моделирования процессов пищевых производств [Текст] / Н. В. Остапчук. – Киев: Выща школа, 1991. – 368 с.

5 Самарский, А.А. Численные методы [Текст] / А.А. Самарский, А.В. Гулин. – М.: Наука, 1989. – 432 с.

6 Baehr, H.D. Heat and mass-transfer [Text] / H.D. Baehr, K. Stephan. – Berlin: Springer, 2011. – 688 p.

7 Dhole, S.D. Numerical study on the forced convection heat transfer from an isothermal and isoflux sphere in the steady symmetric flow regime [Text] / S.D. Dhole, R.P. Chhabra, V.A. Eswaran // International Journal of Heat and Mass Transfer. –2006. - V. 49. – P. 984-994.

8 Добкин, В.М. Системный анализ в управлении [Текст] / В. М. Добкин. – М.: Химия, 1984. – 224 с.

9 Кондратов, А.П. Основы физического эксперимента и математическая обработка результатов измерений [Текст] / А.П. Кондратов. – М.: Атомиздат, 1977. – 196 с.

REFERENCES

1 Lykov, A.V. Heat-mass-exchange [Text] / A.V. Lykov. – М.: Energiya, 1978. – 479 p.

2 Lykov, A.V. Theory of drying [Text] / A.V. Lykov. – М.: Energiya, 1968. – 470 p.

3 Grachev, U.P. Modeling and optimization of heat- mass-exchange process of food industry [Text] / U.P. Grachev, A.K. Tuboltsev, V.K. Tuboltsev. – М.: Legkaya pishevaya promyshlennost, 1984. – 216 p.

4 Ostapchuk, N.V. Fundamentals of process of food industries mathematic modeling [Text] / N.V. Ostapchuk. – Kiev: Vysha shkola, 1991. – 368 p.

5 Samarsky, A.A. Numerical methods [Text] / A. A. Samarsky, A. V. Gulin. – М.: Nauka, 1989. – 432 p.

6 Baehr, H.D. Heat and mass-transfer [Text] / H.D. Baehr, K. Stephan. – Berlin: Springer, 2011. – 688 p.

7 Dhole, S.D. Numerical study on the forced convection heat transfer from an isothermal and isoflux sphere in the steady symmetric flow regime [Text] / S.D. Dhole, R.P. Chhabra, V.A. Eswaran // International Journal of Heat and Mass Transfer. –2006. - V. 49. – P. 984-994.

8 Dobkin, V.M. System analysis in control [Text] / V. M. Dobkin. –М.: Khimiya, 1984. -224 p.

9 Kondratov, A.P. Fundamentals of physical experiment and mathematical processing of measurement results [Text] / A.P. Kondratov. – М.: Atomizdat, 1977. – 196 p.

Профессор Б.А. Голоденко, к.ф.-м.н. А.Б. Голоденко
(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра информационных и управляющих систем,
тел. (473) 255-38-75

Квантово-химическое моделирование электронных свойств аморфной тетраэдрической структуры

На примере атомной ячейки аморфного кремния рассмотрены методика и результаты применения средств и методов квантовой химии для моделирования электронных свойств локальной атомной структуры твёрдого тела. Показано значение матрицы плотности состояний для практической оценки и расчёта электронных свойств полупроводника по результатам квантово-химического моделирования фрагмента его атомной структуры.

On an example of a nuclear cell of amorphous silicon the technique and results of application of means and methods of quantum chemistry for modelling electronic properties of local nuclear structure of a firm body are considered. Value of a matrix of density of conditions for a practical estimation and calculation of electronic properties of the semiconductor by results of quantum-chemical modelling a fragment of its nuclear structure is shown.

Ключевые слова: квантовая химия, энергетическое состояние, аморфная структура, матрица плотности.

Уникальное сочетание физических свойств аморфных полупроводников относит их к перспективным материалам электронной техники и открывает им пути разнообразного применения. При этом в отличие от затратных технологий выращивания химически чистых полупроводниковых монокристаллов, слабая чувствительность аморфных материалов к примесям позволяет производить их наиболее простыми и экономичными методами, в том числе в виде тонких плёнок обширных площадей на гибких подложках из доступного материала. Среди таких перспективных полупроводников своими эксплуатационно-технологическими возможностями особо выделяется аморфный кремний $a\text{-Si}$ и его сплавы, в частности $a\text{-SiC:H}$.

Однако промышленному освоению подобных материалов препятствует целый ряд взаимосвязанных научных проблем, ключевой из которых по-прежнему остаётся целенаправленное управление типом и концентрацией носителей заряда в полупроводнике [1], исходное множество которых создаётся в процессе синтеза его вещества. К примеру, аморфный сплав $a\text{-SiC:H}$ получают из газовой смеси метана CH_4 и силана SiH_4 плазмохимическим осаждением на ту или иную подложку с одновременным гидрированием растущего материала.

При этом атомная структура конечного вещества, а значит его электропроводность, существенно зависит от пропорций компонентов исходной газовой смеси [2].

Вполне очевидно, что эффективное управление типом и концентрацией носителей заряда в полупроводнике требует отчётливого понимания механизмов квантовых взаимодействий в его атомной структуре и механизмов межатомных и межмолекулярных взаимодействий в процессе его синтеза. Исчерпывающее описание таких механизмов даёт уравнение Шрёдингера и его релятивистский вариант – уравнение Дирака, которые допускают только приближённые решения в рамках зонной теории для твёрдых тел и в рамках молекулярной механики или метода молекулярных орбиталей для химических объектов и процессов. Если при этом математическое описание распределения атомов в кристалле или молекуле особых затруднений не вызывает, то аналогичная задача для аморфного твёрдого тела традиционно воспринимается как практически неразрешимая научная проблема.

Однако интерпретация аморфной структуры в виде строго закономерного фрактала позволила отыскать эту закономерность в системе итерированных функций, построить предопределённую модель атомной решётки аморфного кремния, подтвердить её адекватность [3, 4, 5] и получить новые возможности

теоретического моделирования протекающих в нём электронных процессов. Тем не менее, обретенные возможности моделирования аморфных структур не устраняют необходимость решения уравнения Шрёдингера, а отсутствие периодического потенциала усложняет эту задачу, исключая применение теоремы Блоха и зонной теории. К тому же построенная аморфная структура виртуальна и потому недоступна для экспериментального исследования традиционными техническими средствами. Отсюда возникает проблема практического применения фрактальной модели аморфной атомной структуры.

Поскольку предпосылки эффективного управления типом и концентрацией носителей заряда в полупроводнике создаются в процессе химического синтеза его материала, обращает на себя внимание методология квантовой химии. Аппарат квантовой химии ориентирован на изучение механизмов и энергетики процессов образования и превращений вещества и химических соединений [6], располагает отработанными методами решения уравнения Шрёдингера для молекулярных систем, в том

числе лишённых периодического потенциала, и оснащён достаточно мощными программными средствами квантово-химических расчётов, в частности пакетом МОРАС. Отсюда возникает желание применить такой пакет для экспериментального исследования свойств аморфного кремния на фрактальной модели его атомной структуры и формулируется цель выполняемого моделирования – средствами квантово-химического пакета МОРАС выполнить расчёт электронных свойств элементарной ячейки аморфной структуры, рассматривая её как молекулу.

Для выполнения расчёта квантовой системы пакет МОРАС требует описания относительной координации атомов этой системы через её межатомные связи, валентные и диэдрические углы. В нашем случае моделируется тетраэдрическая атомная ячейка аморфного кремния (рисунок 1), образованная пятью атомами. В формате МОРАС такая структура описывается так называемой внутренней системой координат и называется z-матрицей (таблица 1).

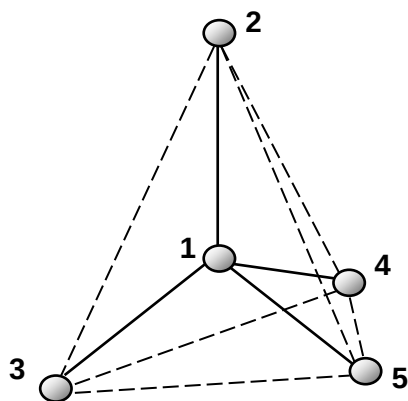


Рисунок 1 - Элементарная тетраэдрическая атомная ячейка

Таблица 1
Внутренняя система координат тетраэдрической атомной ячейки

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Si	0.00	0	000.0	0	000.0	0	0	0	0	0
2	Si	2.47	0	000.0	0	000.0	0	1	0	0	0
3	Si	3.35	0	104.5	0	000.0	0	1	2	0	0
4	Si	2.75	0	109.1	0	110.0	0	1	2	3	0
5	Si	3.85	0	110.4	0	140.0	0	1	2	4	0
6	0										

Первый столбец таблицы 1 внутренних координат моделируемой ячейки содержит химические обозначения образующих её атомов. Центральный – *первый* атом ячейки рисунка 1 целесообразно поместить в начало координат, а остальные атомы естественным образом скоординировать от него через длины межатомных связей, выраженных в ангстремах, валентные и диэдрические углы, выраженные в градусах. В таблице 1 длины межатомных связей даны в колонке 2, валентные углы – в колонке 4, диэдрические углы – в колонке 6. Привязка длин и углов к опорным атомам содержится в колонках 8-10 таблицы 1.

Численные значения внутренних координат получены в результате фрактального моделирования аморфной структуры по авторской методике, изложенной в [3, 4]. Поскольку оптимизация геометрии моделируемой ячейки не планируется, колонки 3, 5 и 7 заполнены нулями.

В среде МОРАС квантово-химические расчёты выполняются полуэмпирическими методами MINDO/3, MNDO, AM1 или PM3. Подробные характеристики этих методов содержат многие литературные источники, например [6, 7, 8]. Откуда следует, что перечисленные методы упрощают решение уравнения Шрёдингера для атомов и молекул, про-

водя расчёты только для валентных электронов с применением стандартных базисных функций и ряда параметров, полученных в эксперименте. При этом методы MINDO/3, MNDO и AM1 последовательно развивают друг друга, а метод PM3 является специализированной версией AM1. В связи с этим запланированные расчёты выполнены методом AM1

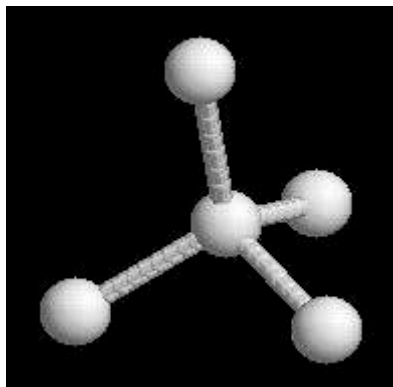


Рисунок 2 - Визуализация моделируемой атомной структуры

Среди остальных результатов с позиций выполняемого исследования наибольший интерес представляют собственные значения (уровни) энергии и коэффициенты молекулярных орбиталей МО (таблица 3), вычисленные атомные

в приближении самосогласованного поля (SCF) и при условии общего нулевого заряда моделируемой атомной ячейки.

В соответствии с данными таблицы 1 система МОПАС визуализирует моделируемую атомную структуру (рисунок 2) и производит расчёт её межатомных расстояний (таблица 2).

Т а б л и ц а 2

Межатомные расстояния

INTERATOMIC DISTANCES					
	Si1	Si2	Si3	Si4	Si5
Si 1	.000000				
Si 2	2.470000	.000000			
Si 3	2.350000	3.811832	.000000		
Si 4	2.750000	4.255427	4.008774	.000000	
Si 5	2.850000	4.373894	4.078382	4.952998	.000000

заряды и дипольные моменты (таблица 4) и, что особенно ценно, матрица плотности состояний моделируемой атомной структуры (таблица 5). Вывод результатов система завершает краткой сводкой обобщённых сведений (таблица 6).

Т а б л и ц а 3

Фрагмент массива собственных значений (уровней) энергии и коэффициентов молекулярных орбиталей

ROOT NO.	EIGENVECTORS					
	1	2	3	4	5	6
	-12.09927	-11.03140	-10.27681	-9.56523	-8.47907	-8.20236
S Si 1	-.53397	.06196	.09174	-.34199	.25745	.02898
PX Si 1	-.11455	.61444	-.06549	.22330	.16165	-.40953
PY Si 1	-.42771	-.25231	-.14455	.35676	.13299	.22838
PZ Si 1	.02891	.00561	-.66067	-.22728	-.04354	-.04198
S Si 2	-.30019	.60895	-.01290	.01102	-.51539	.42085
PX Si 2	.20256	-.16647	-.02331	.11083	-.40526	.40493
PY Si 2	-.07346	-.05236	-.03000	.10068	-.04120	.11672
PZ Si 2	.00539	-.00004	-.10851	-.04394	-.00179	-.01692
S Si 3	-.51899	-.35186	-.08825	.21318	-.44662	-.44485
PX Si 3	-.11896	.08500	-.02622	.05795	.11881	.00972
PY Si 3	.26973	.09085	-.02472	.16243	-.34236	-.41890
PZ Si 3	.00643	.00494	-.16001	-.06127	-.00614	-.00788
S Si 4	-.07638	-.05907	.60880	-.34922	-.25714	-.15701
PX Si 4	-.03111	.05346	.07758	-.01948	.06411	-.02367
PY Si 4	-.07570	-.04516	.04842	.03587	.01878	.05584
PZ Si 4	-.06734	-.01222	.12536	-.09712	.10804	.08028
S Si 5	-.04049	-.04692	-.28331	-.62948	-.19679	-.10070
PX Si 5	-.02156	.04344	-.04557	-.06188	.04053	-.03430
PY Si 5	-.05956	-.03933	-.05185	-.00489	.00261	.04106
PZ Si 5	.04902	.01290	.04573	.13293	-.05459	-.03497

Атомные заряды и дипольные моменты квантовой системы

NET ATOMIC CHARGES AND DIPOLE CONTRIBUTIONS				
ATOM NO	TYPE	CHARGE	ATOM ELECTRON DENSITY	
1	Si	-1.3752	5.3752	
2	Si	.4245	3.5755	
3	Si	.4531	3.5469	
4	Si	.2852	3.7148	
5	Si	.2124	3.7876	
DIPOLE	X	Y	Z	TOTAL
POINT-CHG	1.509	2.802	-.784	3.277
HYBRID	-.633	-1.850	.220	1.967
SUM	.876	.952	-.564	1.412

Т а б л и ц а 5

Матрица плотности состояний квантовой системы
(фрагмент выходного массива)

DENSITY MATRIX IS						
0		S Si1	PX Si1	PY Si1	PZ Si1	S Si2
S Si	1	1.090822				
PX Si	1	-.042925	1.423806			
PY Si	1	.007390	.066928	1.349266		
PZ Si	1	.009724	-.021267	-.015680	1.511320	
S Si	2	.194798	.262442	-.073913	.013455	1.833488
PX Si	2	-.511750	-.654661	.089533	-.019123	.426328
PY Si	2	-.101249	-.050079	.362596	-.034092	.024659
PZ Si	2	.013272	-.001625	-.015630	.292500	-.008206
S Si	3	.206917	-.108567	.262518	.011428	.022449
PX Si	3	.083741	.245554	.273112	-.007407	-.009384
PY Si	3	-.541017	.295912	-.539160	-.022071	-.037389
PZ Si	3	.011763	-.014257	-.008104	.370244	-.002209
S Si	4	.122154	-.071676	-.114123	-.147239	.006335
PX Si	4	.151593	.023582	-.144305	-.240985	-.002596
PY Si	4	.048841	-.014544	.164330	-.141275	.056456
PZ Si	4	.391280	-.285540	-.324869	-.421083	.032621
S Si	5	.097460	-.054928	-.095770	.126219	.002297
PX Si	5	.150541	-.002023	-.147760	.237633	-.002838
PY Si	5	.035885	-.026394	.147056	.095329	.055333
PZ Si	5	-.331659	.250280	.273397	-.392721	-.032142

Т а б л и ц а 6

Краткая сводка основных результатов вычислений

FINAL HEAT OF FORMATION	=	60.16607	KCAL
TOTAL ENERGY	=	-398.55513	EV
ELECTRONIC ENERGY	=	-1020.28155	EV
CORE-CORE REPULSION	=	621.72642	EV
IONIZATION POTENTIAL	=	5.56659	
NO. OF FILLED LEVELS	=	10	
MOLECULAR WEIGHT	=	140.428	
COMPUTATION TIME	=	0 h 0 min 1 sec	

Таблица 2 показывает отсутствие недопустимо малых величин межатомных расстояний заданной атомной структуры (рисунок 1), что свидетельствует о корректности её исходного описания (таблица 1). Таблица 3 в терминологии МОРАС содержит результаты расчёта молекулярных орбиталей (МО) заданной атомной структуры. Однако, выполняя расчёт элементарной атомной ячейки твёрдого вещества, которая условно рассматривается как молекула, понятие молекулярной орбитали столь же условно уместно заменить понятием орбитали атомной структуры (ОАС) и по-прежнему интерпретировать её как решение уравнения Шрёдингера в тех или иных приближениях. В такой терминологии каждый столбец таблицы 3 соответствует отдельной ОАС.

Программа МОРАС рассчитала квантовую систему в приближениях SCF и ограниченного метода Хартри-Фока (RHF) с десятью дважды занятыми электронами орбиталями, о чём и выдала сообщение «**RHF CALCULATION, NO.OF DOUBLY OCCUPIED LEVELS = 10**» и «**SCF CALCULATIONS = 2**». Поэтому таких столбцов в выходном файле всего двадцать, и шесть первых из них показаны в таблице 3. Все ОАС в таблице 3 расположены в порядке увеличения их собственной энергии в эВ или, что равносильно, в порядке увеличения их энергетических уровней. Вычисление ОАС в пакете МОРАС выполнено методом ЛКАО, то есть линейной комбинацией атомных орбиталей (АО), которая в квантовой химии выражается соотношением:

$$\psi_i = \sum_{\mu=1}^n c_{\mu i} \cdot \varphi_{\mu}, \quad (1)$$

где ψ_i – искомая ОАС (волновая функция),

$\sum_{\mu=1}^n c_{\mu i} \cdot \varphi_{\mu}$ – линейная комбинация из n ап-

проксирующих АО φ_{μ} и $c_{\mu i}$ – весовой коэффициент.

Тогда первое число в каждом столбце таблицы 3 показывает значение собственной энергии соответствующей ОАС в эВ, а последующие числа того же столбца дают значения весовых коэффициентов отдельных аппроксимирующих её АО. В частности, из таблицы 3 следует, что энергия первой орбитали атомной структуры рисунка 1 заданной своими внутренними координатами (таблица 1) составляет -12,09927 эВ, а безразмерные коэф-

фициенты аппроксимирующей её АО первого атома кремния равны -0,53397 (1s), -0,11455 (p_x), -0,42771 (p_y) и 0,02891 (p_z). Аналогичные показатели второй ОАС принимают значения, соответственно, -11,03140 эВ, 0,06196 (1s), 0,61444 (p_x), -0,25231 (p_y) и 0,00561 (p_z). Таким образом, таблица 3 даёт исчерпывающую информацию о структуре ОАС и вкладе каждого атома в каждую орбиталь моделируемой атомной ячейки. При этом произведение комплексно сопряжённых коэффициентов $c_{\mu i} \cdot c_{\mu i}^*$ определяет вероятность обнаружения электрона на орбитали, а распределение орбиталей по интервалам энергии валентных электронов позволяет вычислить плотность их энергетических состояний – важнейшую характеристику квантовой системы с широким применением в практических расчётах полупроводниковых приборов.

Моделированию электронных свойств отдельной атомной ячейки твёрдого тела, в частности аморфного кремния, средствами квантовой химии несколько не мешает предположение о нейтральном заряде этой ячейки. Такое предположение логически выделяет элементарную ячейку из общей атомной структуры твёрдого тела, где она нейтральна, и позволяет применить к ней методологию квантовой химии. Данные таблицы 4 подтверждают нейтральность заряда моделируемой структуры и сообщают её дипольный момент, вычисленный как векторная сумма вкладов всех точечных зарядов атомной ячейки. Такие данные полезны для инженерных расчётов твёрдотельных полупроводниковых приборов и могут быть использованы при разработке технологий изготовления полупроводниковых материалов.

Особый интерес вызывает матрица плотности электронных состояний моделируемой квантовой системы, фрагмент которой содержит таблица 5. Такая матрица исчерпывающе описывает так называемое смешанное состояние квантовой системы – в данном случае элементарной ячейки аморфного кремния (рисунок 1, 2), как статистический ансамбль сразу нескольких квантовых состояний системы. В квантовой механике [9] подобная матрица плотности служит аналогом вероятностно-фазового пространства распределения координат и импульсов частицы в статистической физике (рисунок 3). Смешанное состояние допускает, что квантовая система с вероятностью p_1 может находиться в состоянии $|\psi_1\rangle$, с вероятностью p_2 в состоянии $|\psi_2\rangle$, с вероятностью p_3 в состоянии $|\psi_3\rangle$ и так далее, что и иллюстрирует рисунок 3.

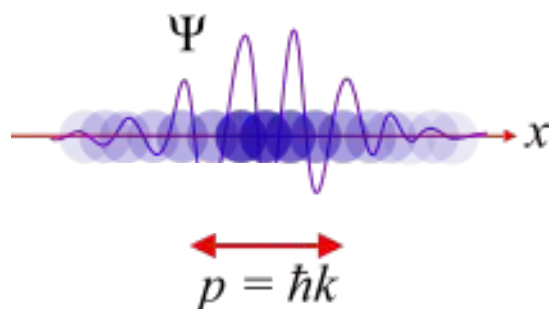


Рисунок 3 - Графическая интерпретация понятия плотности электронных состояний

Для такой системы матрица плотности определяется как оператор:

$$\hat{\rho} = \sum_i p_i |\psi_i\rangle\langle\psi_i| \quad (2)$$

Тогда содержимое матрицы таблицы 5 составляют возможные электронные состояния $|\psi_i\rangle$ и соотнесённые с ними численные значения вероятностей p_i обнаружения в этих состояниях электронов квантовой системы рисунка 1.

Практическое значение полученной матрицы (таблица 5) на этом не исчерпывается, а простирается гораздо дальше и повод к такому выводу даёт формальная конструкция $|\psi_i\rangle\langle\psi_i|$. Дело в том, что для выполнения запланированного моделирования элементарная атомная ячейка твёрдого тела рассмотрена как изолированная молекула. Однако любое твёрдое тело составляет великое множество подобных ячеек и его свойства создаются всей их структурированной совокупностью в диалектическом отрицании собственных свойств. Поэтому прямой перенос на твёрдое тело результатов количественного расчёта его элементарной атомной ячейки и даже их ансамбля, полученных теми или иными методами, неправилен. Твёрдое тело можно представить как некую большую молекулу. Принципиальных запретов на это нет [10], но размерность такой молекулы порождает непреодолимые технические трудности в её описании и моделировании современными средствами, в том числе квантовой химии. Возникает острое принципиальное противоречие между возможностью и выполнимостью подобного моделирования.

Теперь самое время вновь обратить внимание на конструкцию $|\psi_i\rangle\langle\psi_i|$, обычно называемую проектором. Символ ψ_i в ней означает i -ю волновую функцию или орбиталь. В нашем случае это орбиталь атомной структуры (ОАС) – аналог молекулярной ор-

битали (МО) в квантовой химии. Все орбитали моделируемой структуры рисунка 1 вычислены и представлены столбцами матрицы в таблице 3. Если те же орбитали представить не столбцами, а одноимёнными строками ψ_i , то появляется возможность выполнить матричное умножение $|\psi_i\rangle\langle\psi_i|$ состояний квантовой системы и в итоге получить матрицу плотности, несущую всю информацию о квантовой системе [9]. Для элементарной ячейки аморфного кремния такая матрица реально получена (таблица 5), а поскольку атомами 2, 3, 4 и 5 моделируемая ячейка связана и взаимодействует с атомной структурой, в которую она интегрирована как часть, то через эти взаимодействия на неё проецируются свойства системы в целом. Подобные проекции системных свойств чётко отражаются в матрицах плотности любой части всякой системы, в том числе в матрице плотности любой элементарной атомной ячейки. Таким образом, отпадает необходимость моделирования всей системы целиком, так как все её свойства принципиально выводятся из матрицы плотности любой её части. Технология такого анализа выходит за рамки настоящего исследования и здесь не рассматривается.

Краткая сводка обобщённых сведений о результатах моделирования (таблица 6) включает конечную теплоту образования атомной структуры равную 60,16607 Ккал, общую энергию структуры -398,55513 эВ, суммарную энергию всех её электронов -1020,28155 эВ, энергию межъядерного отталкивания величиной 621,72642 эВ и вычисленный потенциал ионизации 5,56659.

Результаты выполненного моделирования подтверждают возможность и целесообразность применения средств и методов квантовой химии к расчёту электронных свойств локальных атомных структур твёрдого тела. Такую возможность обеспечивает единая методология и математический аппарат квантовой химии и физики твёрдого тела, направленные на изучение межатомных взаимодействий и электронных процессов атомных структур путём решения стационарного уравнения Шрёдингера в одних и тех же приближениях. Квантовая химия, однако, ограничивается моделированием и расчётом отдельных молекул, что в сравнении с атомной структурой твёрдого тела существенно снижает размерность задачи, упрощает и позволяет автоматизировать её решение, не снижая качества получаемых результатов. При этом отсутствие принципи-

ального отличия локальной атомной структуры твёрдого тела от молекулы даёт возможность эффективного применения средств и методов квантовой химии к её моделированию и расчёту, а получаемая при этом матрица плотности состояний несёт полную информацию о свойствах всего твёрдого тела.

ЛИТЕРАТУРА

1 Хамакава, Й. Аморфные полупроводники и приборы на их основе [Текст] / Й. Хамакава. – М.: Металлургия, 1986. – 376 с.

2 Терехов, В.В. Исследование локальной электронной и атомной структуры в аморфных сплавах $a\text{-Si}_x\text{C}_{1-x}$ методом ультрамягкой рентгеновской спектроскопии [Текст] / В.В. Терехов, Е.И. Теруков, И.Н. Трапезникова и др. // Физика и техника полупроводников. – 2005. – № 7 (39). – С. 863-867.

3 Голоденко, А. Б. Фрактальное моделирование атомной структуры аморфного кремния на основе систем итерированных функций [Текст] / А.Б. Голоденко // Инженерная физика. – 2009. – № 8. – С. 27-30.

4 Голоденко, А.Б. Фрактальное моделирование механизма порождения аморфности тетраэдрической атомной структуры [Текст] / А.Б. Голоденко, Б.А. Голоденко // Нано- и микросистемная техника. – 2012. – №11. – С. 23-27.

5 Голоденко, А.Б. Оценка адекватности фрактальной модели атомной структуры аморфного кремния [Текст] / А.Б. Голоденко // Физика и техника полупроводников. – 2010. – №1 (44). – С. 87-91.

6 Барановский, В. И. Квантовая механика и квантовая химия [Текст]: учебное пособие / В.И.Барановский. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 384 с.

7 Блатов, В.А. Полуэмпирические расчётные методы квантовой химии [Текст]: учебное пособие / В.А. Блатов, А.П. Шевченко, Е.В. Пересыпкина. – Самара: Изд-во «Универс-групп», 2005. – 32 с.

8 Ермаков, А.И. Квантовая механика и квантовая химия [Текст]: учебное пособие / А.И.Ермаков. – М.: ИД Юрайт, 2010. – 555 с.

9 Блум, К. Теория матрицы плотности и её приложения [Текст] / К. Блум. – М.: Мир, 1983. – 248 с.

10 Минкин, В.И. Теория строения молекул [Текст] / В.И. Минкин, Б.Я. Симкин, Р.М. Миняев. – Ростов-на-Дону: «Феникс», 1997 – 560 с.

REFERENCES

1 Hamakava , J. Amorphous semiconductors and devices based on them [Text] / J. Hamakava . – M.: Metallurgiya , 1986 . - 376 p .

2 Terekhov , V.V. Investigation of the local electronic and atomic structure in amorphous $a\text{-Si}_x\text{C}_{1-x}$ by ultrasoft X-ray spectroscopy [Text] / V.V. Terekhov, E.I. Terukov, I.N. Trapeznikova et al // Semiconductors. - 2005 . - № 7 (39). - P. 863-867 .

3 Golodenko , A.B. Fractal modeling of the atomic structure of amorphous silicon -based iterated function systems [Text] / A. B. Golodenko // Engineering physics. - 2009 . - № 8. - P. 27-30 .

4 Golodenko , A.B. Fractal modeling of the mechanism of generation of tetrahedral amorphous atomic structure [Text] / A.B. Golodenko, B.A. Golodenko // Nano- and microsystems. - 2012 . - № 11.-P. 23-27 .

5 Golodenko, A.B. Evaluate the adequacy of the fractal model of the atomic structure of amorphous silicon [Text] / A.B. Golodenko // Semiconductors . - 2010 . - № 1 (44). - P. 87-91 .

6 Baranovsky, V.I. Quantum mechanics and quantum chemistry [Text]: a textbook / V.I. Baranovsky. - M: Publishing Center "Academiya", 2008. - 384 p .

7 Blatov, V.A. Semi-empirical methods for the even distribution of quantum chemistry [Text]: a textbook / V. A. Blatov, A.P. Shevchenko, E.V. Peresyphkina . – Samara: Publishing House "Univers-group", 2005. - 32 p.

8 Ermakov, A.I. Quantum mechanics and quantum chemistry [Text]: a textbook / A.I. Ermakov. – M.: PH Yurayt, 2010. - 555 p.

9 Blum, K. Density matrix theory and its applications [Text] / K. Bloom. – M.: Mir, 1983. -248 p.

10 Minkin, V.I. The theory of the structure of molecules [Text] / V.I. Minkin, B.J. Simkin, R.M. Minyaev. - Rostov- on-Don: " Phoenix", 1997 - 560 p.

Профессор О.Г. Бурдо, ассистент С.Г. Терзиев,
аспирант И.И. Яровой, аспирант А.А. Борщ
(Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса, Украина)
кафедра процессов, аппаратов и энергетического менеджмента,
тел. +38-048-7124175 .

Моделирование процессов обезвоживания пищевого сырья в электромагнитном поле

Изучение процессов обезвоживания пищевого сырья под воздействием электромагнитного СВЧ поля. Разработка математической модели тепловлагоденоса при микроволновом подводе энергии. Экспериментальная сушильная установка с микроволновым подводом энергии.

Study of food raw materials dehydration processes under the influence of the electromagnetic microwave field. Development of mathematical model of heat and moisture transfer under microwave energy supply. Experimental drying system with microwave energy input.

Ключевые слова: математическое моделирование, микроволновая сушка, обезвоживание, бародиффузия, опытная сушильная установка.

Традиционные подходы [1, 2] в технологиях сушки столкнулись с непреодолимым противоречием. С одной стороны, для интенсификации процессов теплообмена требуется увеличивать скорость (т.е. расход) сушильного агента. С другой стороны, чем больше расход теплоносителя, тем больше теряется тепловой энергии с выбросами установки. Представляется, что выход для решения обозначенного противоречия связан с изменением принципов подвода энергии к зерну. Новая техническая идея, которая защищается в этой работе, основывается на 2 положениях [2, 3]. Во-первых, следует снять с воздуха задачи теплоносителя, а оставить только задачи диффузионной среды, то есть среды, которая обеспечивает эффективный «прием» влаги из продукта. Во-вторых, организовать объемный подвод энергии к продукту. Реализация первого положения позволит существенно сократить потери теплоты с отработавшим воздухом, а второго – серьезно сократить время процесса.

Согласно общепринятой классификации П.А. Рабиндера существует 3 формы физической связи влаги с материалом. Представляется, что разные по физической сути виды связи требуют и разные механизмы их разрыва. Причем, это не обязательно должны быть только диффузионные процессы. Все определяют движущие силы, которые могут иметь разную природу. В настоящее время созданы новые, перспективные виды оборудования, эффективность работы которых сложно объяснить с позиций современной теории сушки.

Из этого следует:

1) техника обезвоживания развивается стремительней, чем теоретические обоснования новых принципов удаления влаги;

2) процессы удаления влаги из материала часто не соответствуют понятию «сушка», движущие силы этих процессов не отвечают диффузионным принципам;

3) часто обезвоживание является комплексом комбинированных, сопряжено протекающих процессов, что требует корректного учета действительных механизмов переноса влаги.

Исходя из этого, анализируются возможные схемы переноса влаги. Представляется, что возникающие при описании процесса сушки проблемы объясняются тем, что авторы, сторонники феноменологического подхода, рассматривают сушку как некий один процесс с постоянными коэффициентами переноса и формируют модели из этих предположений. В данной работе выдвигается гипотеза, что сушка – это результат действия на принципе суперпозиции, по меньшей мере, трех процессов: перенос влаги с поверхности твердого тела, перенос влаги в стесненных условиях капилляров и десорбция влаги. Каждый из этих процессов характеризуется своим значением движущей силы и кинетическим коэффициентом скорости процесса. Для разных процессов эти параметры могут существенно отличаться. Каждый из трех процессов подчиняется своим законам переноса, и реализуется за счет разных механизмов.

Механическое удаление влаги с поверхности тела проводят при, так называемой, «фильтрационной сушке». При удалении влаги в среду перегретого водяного пара осуществляется типичный теплоперенос испарением. Эти процессы нельзя называть «сушкой» и моделировать их диффузионными механизмами. И вопрос здесь не столько в терминологии, сколько в принципах построения полных моделей процессов обезвоживания.

Диффузионная модель сушки должна учитывать распределение во времени поверхностной влаги (U_P), влаги в капиллярах (U_K) и адсорбционно- связанной влаги (U_A). При такой постановке усложняются как граф тепловлагопереноса (рисунок 1), так и система уравнений А.В.Лыкова, увеличится число феноменологических коэффициентов k_{ij} [4].

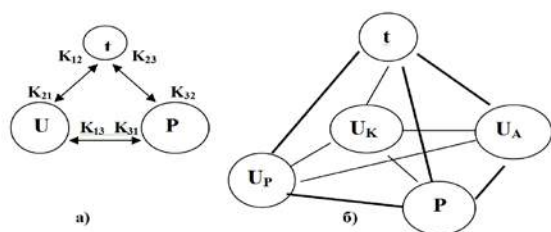


Рисунок 1 - Граф тепловлагопереноса при сушке:
а) – традиционный подход,
б) – предлагаемая модель

Выдвинутая гипотеза не противоречит фундаментальным представлениям физики влажного капиллярно-пористого тела. Обще-признана схема П.А. Ребиндера форм связи влаги [2]. Удаление влаги разных форм связи – это разные процессы со своими коэффициентами переноса, со своим потенциалом, движущей силой (таблица 1).

Попытка коррекции движущей силы с помощью показателя активности воды a_i известна в мировой практике [2].

Техническая идея способа обезвоживания продукта при электромагнитном подводе энергии (ИЭМ) основывается на специфичном характере градиентов температур и влагосодержаний в продукте при объемном, электромагнитном подводе энергии.

Возникает вопрос моделирования процесса при ИЭМ подводе энергии. Предложено [2] новое число энергетического воздействия: $Bu = N(\gamma V \rho)^{-1}$ для учета влияния действия ИЭМ. Число Bu устанавливает соотношение между энергией излучения и той энергией, которая необходима для преобразования в пар всей воды (V), которая находится в продукте. В соотношении γ – теплота фазового перехода, а ρ – плотность воды.

Т а б л и ц а 1

Характеристика основных процессов сушки

№	Процесс	Механизм процесса	Движущая сила процесса	Кинетический коэфф.
1	Испарение влаги с поверхности	Конвективная диффузия	$a_K P_{II} - P_B$	β_K
2	Испарение влаги внутри капилляров, пор	Конвективная диффузия в стесненных условиях	$a_C P_{II} - P_B$	β_C
3	Десорбция влаги	Конвективная диффузия	$a_D P_{II} - P_B$	β_D

В предложенном способе за счет ИЭМ часть жидкости переходит в паровую фазу и внутри капилляра растет давление P_K . При определенных условиях это давление становится больше, чем давление воздуха P_B . Возникает движущая сила ($P_{ГД} = P_K - P_B$). Отдельные капилляры, в которых достигнуты условия для генерации паровой фазы, начинают периодически выбрасывать в воздух жидкость без ее испарения. Иницируется гидродинамический поток из капилляров, сопротивление которому на порядок ниже того, которое преодолевает массовый поток. Влага из нанокapилляров выбрасывается в микрокапилляры, преодолевая соот-

ветствующее диффузионное сопротивление. Частота таких выбросов и число функционирующих капилляров растет с ростом N - мощности излучения.

Исходя из этих положений, поставлен следующий эксперимент, в котором продувка воздухом слоя зерна проводилась импульсно и чередовалась с действием ИЭМ (рисунок 2).

Уровень энергетических затрат (рисунок 2) показывает, что удаление влаги проходит в виде пара и в виде тумана.

Анализ результатов опытов показал, что удельные затраты энергии связаны с диапазоном изменения температур, особенно в режиме продувки (фильтрации) продукта.

И действительно, такая корреляция обнаружена, что позволяет сделать вывод, что достигнутый в опытах уровень энергетических затрат (j) ниже удельной теплоты фазового перехода для воды.

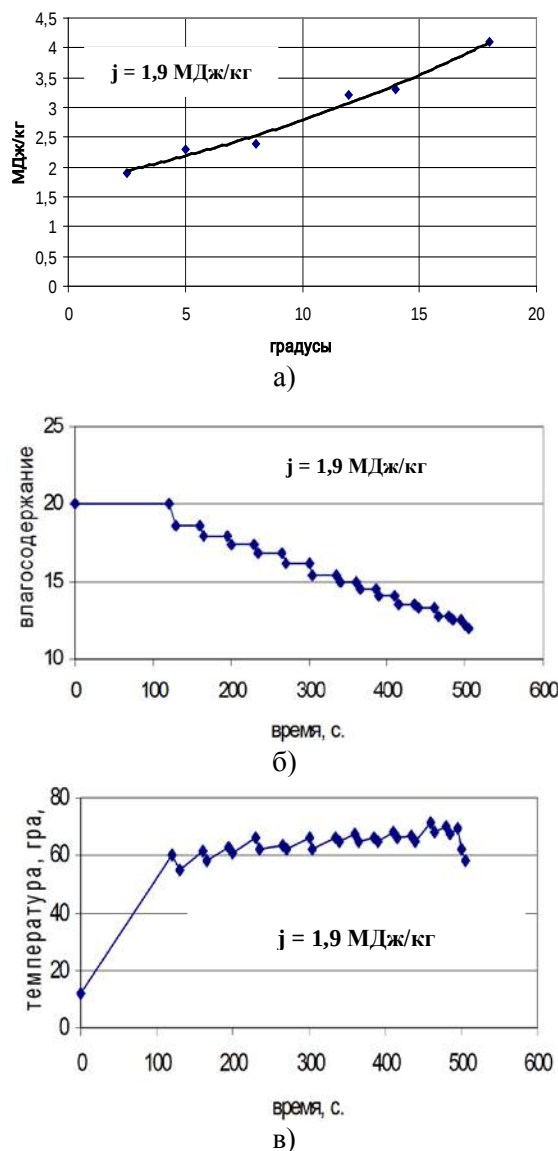


Рисунок 2 - Влияние величины охлаждения продукта на удельные затраты энергии (а), убыль влаги (б) и термограмму (в) процесса.

Из анализа рисунка 2 можно сделать два вывода:

- существует четкая зависимость между величиной изменения температуры при проудке продукта и значением удельных затрат энергии на удаление влаги из продукта (рисунок 2а);
- достигнутый в опытах уровень энергетических затрат ниже удельной теплоты фазового перехода для воды.

Второй вывод убедительно подтверждает выдвинутую гипотезу о возможности в условиях ИЭМ обезвоживания без обязательного полного парообразования.

Структура уравнения в обобщенных переменных для условий неподвижного слоя сырья, ИЭМ подвода энергии и потока диффузионной среды имеет вид:

$$Sh = A(Re)^n (Sc)^m (Bu)^k \quad (1)$$

Перспективным способом при организации процесса сушки является технология микроволновой (МВ) обработки сырья, имеющая целый ряд важных отличий от традиционных методов обезвоживания.

Для проведения комплексных исследований создан стенд, состоящий из сушильной камеры, обеспечивающей микроволновой и инфракрасный нагрев и лабораторных весов (рисунок 3). В качестве сырья использовалось зерно пшеницы и вареный горох. Продукт размещался плотным слоем на подвесе весов в центре камеры.



Рисунок 3 - Стенд для исследования кинетики обезвоживания в э/м поле.

В результате серии опытов по сушке в микроволновом поле получены зависимости, отражающие кинетику процесса обезвоживания пшеницы при различных мощностях излучения и различных величинах нагрузки камеры.

При различной, но постоянной в каждой серии опытов мощности микроволнового излучения, изменялась удельная масса зерна в пределах $G=1.32-5.26 \text{ кг/м}^2$. Данные о влагосодержании зерна регистрировались по показаниям электронных весов, исходя из баланса массы. По полученным в результате серии экспериментов данным определены зависимости изменения влагосодержания зерна при неизменной мощности микроволнового излучения. При меньших мощностях динамика процесса пропорционально снижается. Снижение скорости сушки не наступало до окончания эксперимента.

За основу для построения микроволновой сушилки был принят конструктив с модульным принципом компоновки сушильных секций. Сотрудниками кафедры была создана экспериментальная установка (рисунок 5) и проведены предварительные испытания.

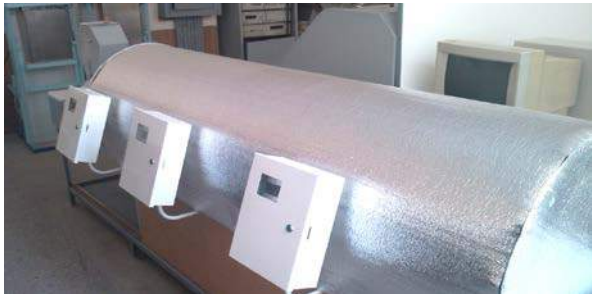


Рисунок 5 - Экспериментальный образец микроволновой сушилки.

Основные характеристики сушильной установки:

Потребляемая электр. мощность: $\leq 3,0$ KVA
Мощность МВ излучателей: $\leq 1,5$ KW (р/упр.)
Мощность ИК излучателей: $\leq 3,5$ KW (р/упр.)
Скорость конв. ленты: 0-0,3 м/мин. (р/упр.)
Габаритные размеры установки
- д/ш/в: 3000*600*1200 мм
Снижение влажности за проход: $\leq 2,6\%$ о.в.;
Производительность: 3-10 кг/час (переменная)

В настоящее время проводится несколько серий экспериментов по сушке зерна пшеницы, вареного гороха и кофейного шлама. Текущими задачами проводимых исследований являются: оптимизация конструкции микроволновых камер, определение оптимальных режимов сушки для различных видов сырья и разработка новых способов контроля технологических параметров процесса сушки.

Можно сделать вывод, что перспективный шаг в эволюции сушильных установок связан с задачей организации частичного механического обезвоживания, что возможно при комбинации бародиффузионных технологий и принципов фильтрационной сушки. Результаты комплексных исследований разработанного экспериментального образца микроволновой сушильной установки подтвердили перспективность предложенных технических решений для многоцелевой микроволновой обработки растительного сырья. Естественно,

что предложенные принципы требуют ряда конструкторских решений для обеспечения поточности, безопасности и производительности промышленных установок.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Бурдо, О.Г. Энергетический мониторинг пищевых производств [Текст] / О.Г. Бурдо. – Одесса: Полиграф, 2008 – 244 с.
- 2 Бурдо, О.Г. Эволюция сушильных установок [Текст] / О.Г. Бурдо. – Одесса: Полиграф, 2010 – 368 с.
- 3 Бурдо, О.Г. Эволюция сушильных установок. Энергетический аспект [Текст] / О.Г. Бурдо // Труды международного научно-технического семинара «Актуальные проблемы сушки и термовлажностной обработки материалов», Воронеж. - 2010. - С. 478-487.
- 4 Бурдо, О.Г. Исследование модуля ленточной сушилки растительного сырья с комбинированным электромагнитным подводом энергии [Текст] / О.Г. Бурдо, С.Г. Терзиев, И.И. Яровой, Н.В. Ружицкая // Труды IV Международной научно-практической конференции «Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов) СЭТТ-2011», Москва. – 2011. – Т.1. – С. 422 – 426.

REFERENCES

- 1 Burdo, O.G. Energy monitoring of food production [Text] / O.G. Burdo. - Odessa: Polygraph, 2008 - 244 p.
- 2 Burdo, O.G. Evolution dryers [Text] / O.G. Bourdeau. - Odessa: Polygraph, 2010 - 368 p.
- 3 Burdo, O.G. Evolution dryers. The energy aspect [Text] / O.G. Burdo // Proceedings of international scientific seminar "Actual problems of drying and hydrothermal treatment of materials", Voronezh. - 2010. - P. 478-487.
- 4 Burdo, O.G. The research module belt dryer plant material with a combined electromagnetic energy input [Text] / O.G. Burdo, S.G. Terziev, I.I. Yarovoy, N.V. Ruzhitskaya // Proceedings of the IV International scientific-practical conference "Modern energy saving thermal technology (drying and hydrothermal treatment of materials) MESTT-2011", Moscow. - 2011. - V.1. - P. 422 - 426.

Профессор В.С. Кудряшов, доцент А.В. Иванов,
аспирант А.А. Гайдин

(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра информационных и управляющих систем,
тел. (473) 255-38-75

Расчёт и моделирование цифровой робастной системы управления связанным нестационарным объектом

Рассматривается синтез робастной цифровой системы управления многосвязным нестационарным объектом на примере процесса получения аммиака. Приводятся сравнительные результаты моделирования дискретной системы управления с использованием трёх различных критериев оптимизации. Описание системы представлено в передаточных функциях вход-выход. Полученные результаты распространяются на класс многосвязных несимметричных объектов управления.

The synthesis of robust digital control systems of multiply non-stationary object on the example of ammonia obtaining is considered. We present the results of the comparative modeling discrete control system using three different optimization criteria. Description of the system is represented in the transfer functions of the input-output. The results apply to the class of multi-connected single-ended control objects.

Ключевые слова: многосвязная система регулирования, нестационарный объект управления, оценка устойчивости, синтез аммиака

Параметры моделей каналов объекта управления в процессе эксплуатации зачастую претерпевают значительные изменения, при этом большинство технологических объектов являются многосвязными. Разработанные способы управления такими объектами подразумевают изменение настроечных параметров системы с течением времени. Перенастройка требует наличия уточнённых данных о параметрах модели объекта, то есть необходимо проведение текущей идентификации, что не всегда возможно, тем более для многосвязных объектов. Применение же принципов робастного управления обеспечивает гарантированное качество и требуемый запас устойчивости на протяжении всего эксплуатационного периода [1]. В работе поставлена задача разработки, моделирования и исследования робастной цифровой системы управления многосвязным объектом, включающая следующие этапы:

- выбор и обоснование критериев управления;
- оптимизация управляющей части системы по предложенным критериям;
- моделирование системы при возможной вариации параметров модели объекта со связанными параметрами в течение эксплуатационного периода;

– исследование функционирования робастной системы по различным критериям синтеза и оценка эффективности работы по показателям качества и запасу устойчивости.

При синтезе систем регулирования и расчёте оптимальных настроечных параметров цифровых регуляторов наиболее часто применяется критерий минимума интегральной квадратичной ошибки (1). В дискретной форме для многосвязного объекта этот критерий можно представить следующим образом:

$$S_1 = \sum_{j=1}^n \left[\sum_{i=1}^m e_{ij}^2 \right] \quad (1)$$

где: S_1 – интегральная квадратичная ошибка;
 e_{ij} – рассогласование по каналам управления;
 n – число параметров управления; m – количество точек разбиения переходного процесса.

Вместе с тем, при синтезе робастной системы управления одним из требований является не только обеспечение качества управления, но и достижение требуемого запаса устойчивости, поэтому введём комплексный критерий (2) [2]:

$$S_2 = \sum_{j=1}^n \left[\sum_{i=1}^m e_{ij}^2 + \frac{\alpha_j}{\rho_j} \right] \quad (2)$$

$$\rho = 1 - |\lambda_{\max}|.$$

где: S_2 – комплексный критерий, учитывающий интегральную квадратичную ошибку и запас устойчивости системы; ρ – запас устойчивости системы;

$\lambda_{\max}$ – максимальный корень характеристического полинома канала управления; α_j – весовой коэффициент по каналам управления.

Кроме того модифицируем критерий (1), учитывая качество управления не только при номинальном состоянии объекта, но и в конце эксплуатационного периода, то есть возможный интервал изменения параметров модели объекта:

$$S_3 = \sum_{j=1}^n [\sum_{i=1}^m (e_{ij}^{HC})^2 + \sum_{i=1}^m (e_{ij}^{KC})^2] \quad (3)$$

где: S_3 – суммарная интегральная квадратичная ошибка в начальном и конечном состоянии объекта; e_{ij}^{HC} , e_{ij}^{KC} – рассогласование по каналам управления в начальном и конечном состоянии.

В качестве примера многосвязного объекта рассмотрим процесс синтеза аммиака (рисунок - 1) [2, 3].

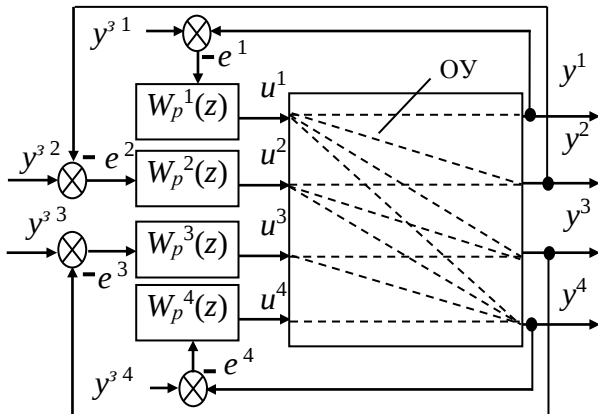


Рисунок 1 - НЦСР процессом синтеза аммиака: ОУ – объект управления; y^1 - y^4 – измеряемые выходы системы (температура в слоях катализатора); y^{31} - y^{34} – задающие воздействия; e^1 - e^4 – ошибки регулирования; u^1 - u^4 – управляющие воздействия (степени открытия заслонок на байпасных потоках); $W_p^1(z)$ - $W_p^4(z)$ – дискретные передаточные функции цифровых регуляторов.

Нестационарные свойства объекта обусловлены изменением активности катализатора с течением времени [4], в связи с этим рассмотрим возможный диапазон изменения параметров моделей объекта по отношению к номинальному состоянию (Н.С.) в процессе функционирования (таблица 1)

С целью сравнительного анализа робастной системы регулирования, синтезированной по критериям (2,3) с системой, рассчитанной по критерию (1), проведена оптимизация цифровых регуляторов второго порядка по предложенным критериям методом покоординатного спуска. В комплексном

критерии S_2 большое значение имеет величина весового множителя α , устанавливающего соотношение между запасом устойчивости и интегральной квадратичной оценки. Ранее установлено [2], что для данного объекта управления при значении $\alpha=30$ составляющие критерия учитываются в равной степени. Динамические характеристики системы для первых двух выходов (рисунок1) представлены на рисунках 2,3.

Т а б л и ц а 1

Изменение параметров моделей каналов объекта в процессе эксплуатации

Состояние системы	Канал	Значения параметров модели ОУ		
		Дискретные		
		a_1	b , %мас/(т/ч)	d , такт
-30%	$(W_o^u[1][1])$	0,859	-0,476	10
	$(W_o^u[2][2])$	0,880	-0,190	16
	$(W_o^u[1][2])$	0,895	-0,062	18
-20%	$(W_o^u[1][1])$	0,877	-0,416	10
	$(W_o^u[2][2])$	0,895	-0,166	16
	$(W_o^u[1][2])$	0,908	-0,054	18
-10%	$(W_o^u[1][1])$	0,891	-0,370	10
	$(W_o^u[2][2])$	0,907	-0,148	16
	$(W_o^u[1][2])$	0,918	-0,048	18
н.с.	$(W_o^u[1][1])$	0,901	-0,333	10
	$(W_o^u[2][2])$	0,916	-0,133	16
	$(W_o^u[1][2])$	0,927	-0,043	18
+10%	$(W_o^u[1][1])$	0,910	-0,303	10
	$(W_o^u[2][2])$	0,924	-0,121	16
	$(W_o^u[1][2])$	0,933	-0,039	18
+20%	$(W_o^u[1][1])$	0,918	-0,277	10
	$(W_o^u[2][2])$	0,930	-0,111	16
	$(W_o^u[1][2])$	0,939	-0,037	18
+30%	$(W_o^u[1][1])$	0,924	-0,256	10
	$(W_o^u[2][2])$	0,935	-0,103	16
	$(W_o^u[1][2])$	0,943	-0,034	18

При синтезе робастной системы управления необходимо учитывать максимально возможный интервал изменения параметров объекта управления в процессе эксплуатации. Для исследования изменения динамики системы управления проведена серия численных экспериментов для критерия S_3 (рисунки 4,5). Сравнение предложенных критериев проводилось по показателям качества и корням характеристического полинома системы.

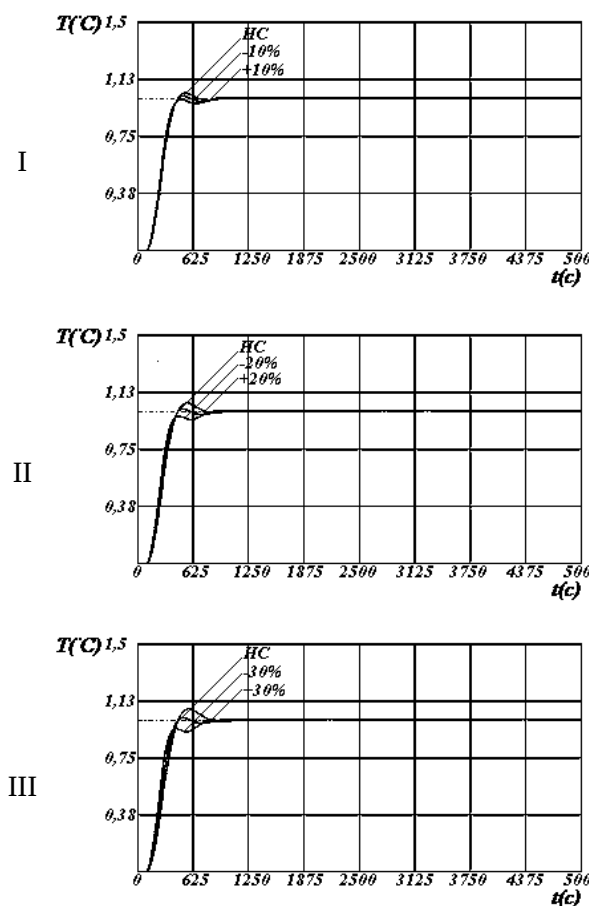


Рисунок 2 - Динамические характеристики системы по $y^{[1]}$ с настройками регулятора по критерию S_2 , где: I, II, III – изменение параметров модели на 10%, 20%, и 30% соответственно.

Анализ показателей качества (таблицы 2, 3) динамических характеристик позволяет сделать выводы, что наименьшими ошибками обладает система, синтезированная по критерию S_1 и по S_3 в номинальном состоянии. Комплексный критерий S_2 показал незначительное ухудшение данного показателя: отклонение от лучших показателей не превышает 10%. При этом суммарный интегрально-квадратичный критерий S_3 обладает наилучшей стабильностью в процессе эксплуатации, так как изменение не превысило 2,5%.

Наибольший запас устойчивости системы достигается в случае применения комплексного критерия S_2 . Критерии S_1 и S_3 в номинальном состоянии обладают схожими значениями запаса устойчивости. В процессе эксплуатации системы происходит увеличение аperiodических запаздываний по каналам модели объекта, что в свою очередь приводит к увеличению запаса устойчивости.

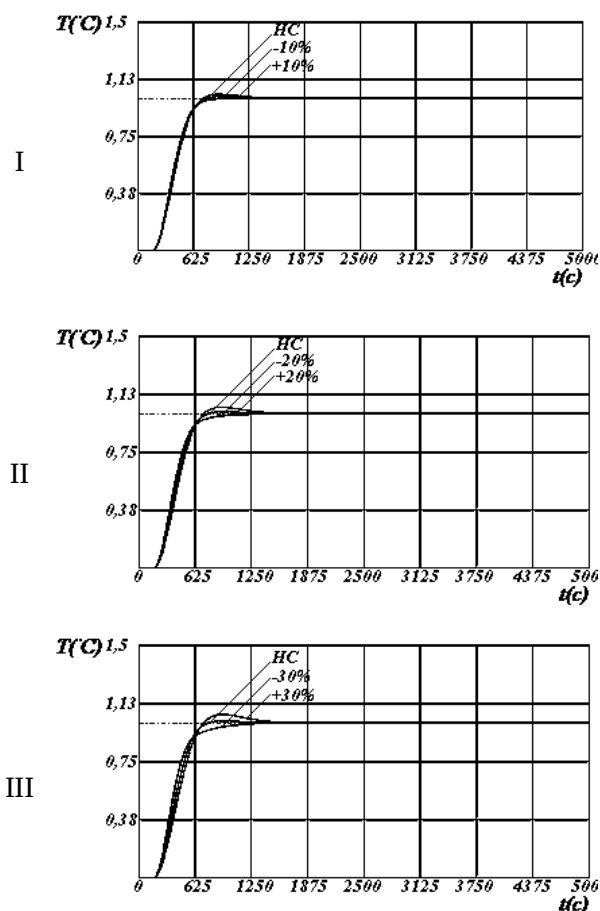


Рисунок 3 - Динамические характеристики системы по $y^{[2]}$ с настройками регулятора по критерию S_2 , где: I, II, III – изменение параметров модели на 10%, 20%, и 30% соответственно.

Изменение качественных показателей системы в процессе эксплуатации проявляется для каждого из предложенных критериев, однако разница интегральной квадратичной оценки незначительна (таблицы 2, 3; рисунки 6, 7).

Анализ изменения времени регулирования системы управления позволяет сделать вывод, что наилучшими показателями обладает система, синтезированная по комплексному критерию S_2 по сравнению с S_1 и S_3 (рисунки 8, 9). Для критериев S_1 и S_3 с увеличением срока эксплуатации время регулирования по $y^{[1]}$ уменьшается, а по $y^{[2]}$ увеличивается, тогда как для критерия S_2 значения варьируются незначительно и почти в 2 раза меньше чем при S_1 и S_3 .

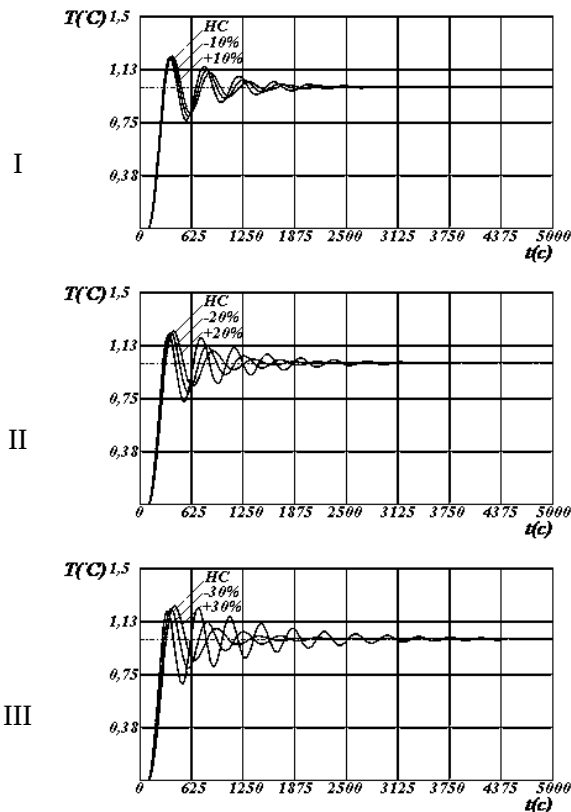


Рисунок 4 - Динамические характеристики системы по $y^{[1]}$ с настройками регулятора по критерию S_3 , где: I, II, III – изменение параметров модели на 10%, 20%, и 30% соответственно.

Т а б л и ц а 2

Изменение интегральной оценки выхода $y^{[1]}$ системы для различных критериев

Состояние объекта	Первый выход системы		
	S_1	S_2	S_3
-30%	18,473	19,823	19,505
-20%	18,515	20,31	18,976
-10%	18,729	20,798	18,925
н.с.	19,033	21,287	19,073
+10%	19,388	21,777	19,323
+20%	19,777	22,267	19,633
+30%	20,188	22,758	19,98

Динамическая ошибка для критерия S_2 так же оказались в 2-3 раза меньше значений полученных при настройке по критериям S_1 и S_3 (рисунок 10).

Оценка значений максимальных корней характеристического полинома системы (рисунок 12) для S_2 показала, что при изменении параметров модели объекта от номинальных значений происходит увеличение максимального корня, что свидетельствует об уменьшении запаса устойчивости. Для критериев S_1 и S_3 наблюдается уменьшение значений корней. Вместе с тем наименьшим по модулю максимальным корнем обладает система, синтезированная по критерию S_2 с весовым коэффициентом $\alpha=30$.

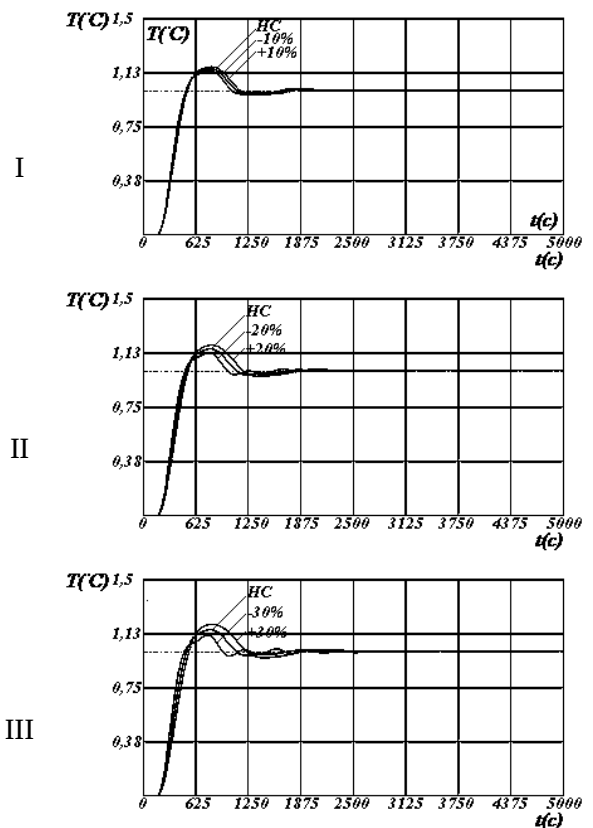


Рисунок 5 - Динамические характеристики системы по $y^{[2]}$ с настройками регулятора по критерию S_3 , где: I, II, III – изменение параметров модели на 10%, 20%, и 30% соответственно.

Т а б л и ц а 3

Изменение интегральной оценки выхода $y^{[2]}$ системы для различных критериев

Состояние объекта	Второй выход системы		
	S_1	S_2	S_3
-30%	27,863	31,15	27,92
-20%	28,663	31,817	28,687
-10%	29,457	32,478	29,456
н.с.	30,244	33,135	30,221
+10%	31,023	33,788	30,981
+20%	31,794	34,435	31,734
+30%	32,559	35,08	32,481

Таким образом, в результате численного моделирования системы и оценки показателей качества при вариации параметров моделей объекта для рассмотренных критериев наилучшим является комплексный критерий S_2 , обеспечивающий наибольший запас устойчивости системы и достаточно хорошее качество регулирования. А такие показатели как время регулирования и динамическая ошибка для критерия S_2 меньше, чем для S_1 , S_3 .

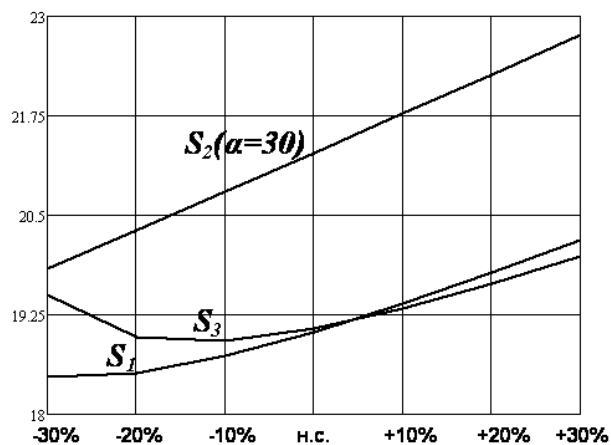


Рисунок 6 - Изменение интегральной квадратичной оценки по $y^{[1]}$

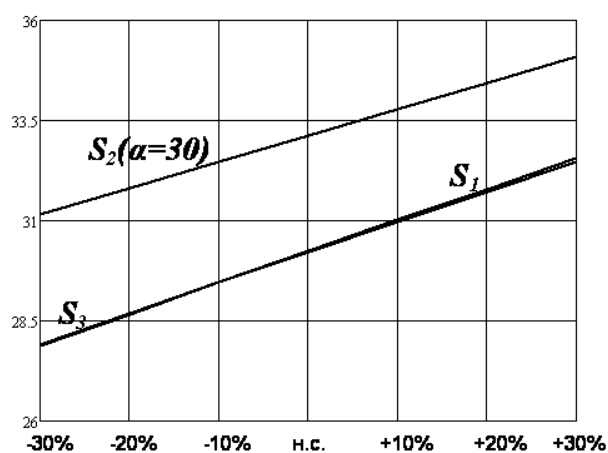


Рисунок 7 - Изменение интегральной квадратичной оценки по $y^{[2]}$

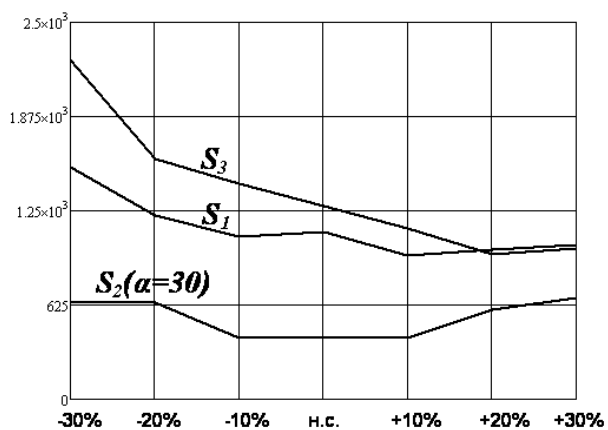


Рисунок 8 - Изменение времени регулирования системы для $y^{[1]}$

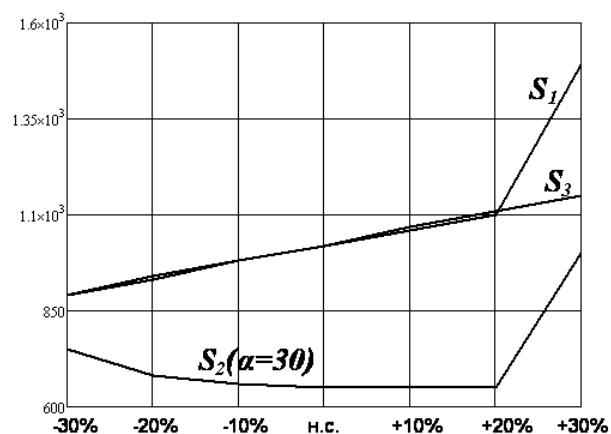


Рисунок 9 - Изменение времени регулирования системы для $y^{[2]}$

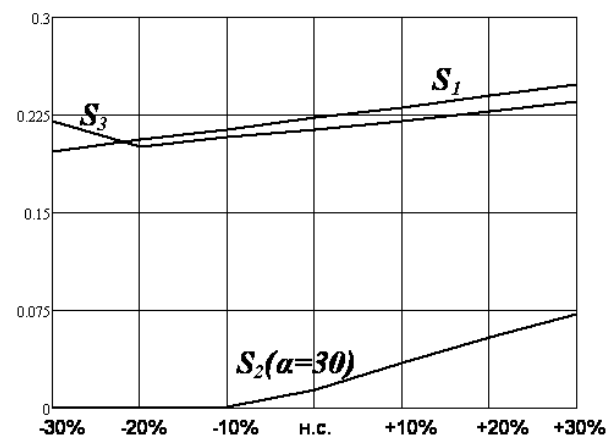


Рисунок 10 - Изменение перерегулирования системы для $y^{[1]}$

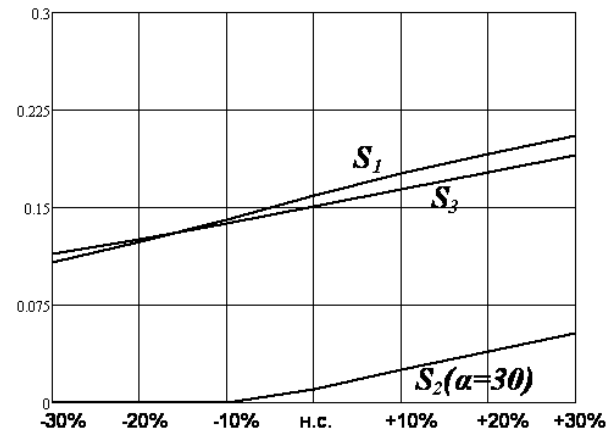


Рисунок 11 - Изменение перерегулирования системы для $y^{[2]}$

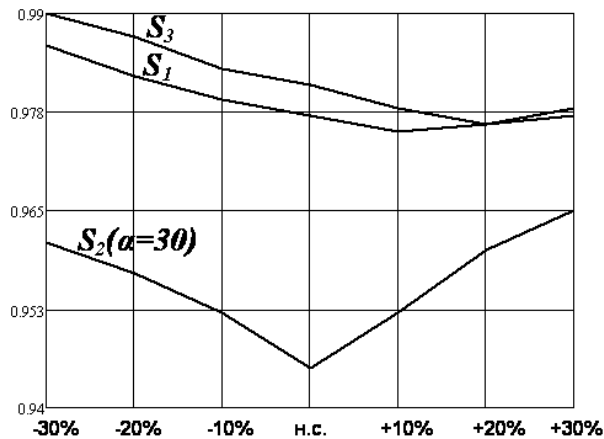


Рисунок 12 - Изменение модуля максимального корня характеристического полинома системы

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Поляк, Б.Т. Робастная устойчивость и управление [Текст] / Б.Т. Поляк, П.С. Щербаков. – М.: Наука, 2002. – 303 с.
- 2 Кудряшов, В.С. Синтез и исследование робастной цифровой системы управления многосвязным нестационарным объектом с применением комплексного критерия [Текст] / В.С. Кудряшов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2013. - №4. - С. 10-17.
- 3 Кудряшов, В.С. Идентификация каналов многосвязного нестационарного объекта [Текст] / В.С. Кудряшов, С.В. Рязанцев, А.В. Иванов // Мехатроника, автоматизация, управление. - 2007. - № 7. - С. 16–21.

4 Янковский, Н.А. Аммиак. Вопросы технологии [Текст] / Н.А. Янковский, И.М. Демиденко, В.А. Степанов. – Донецк: ГИК “Новая печать”, 2001. – 497 с.

REFERENCES

- 1 Polyak, B.T. Robust stability and control [Text] / B.T. Polyak, P.S. Shcherbakov. – M.: Nauka, 2002. – 303 p.
- 2 Kudryashov, V.S. Synthesis and study of robust digital control system multiply non-stationary object using a complex criterion [Text] / V.S. Kudryashov // Instruments and Systems. Management, monitoring, diagnostics. - 2013. - № 4. - P. 10 - 17.
- 3 Kudryashov, V.S. Identification channels multiply non-stationary object [Text] / V.S. Kudryashov, S.V. Ryazancev, A.V. Ivanov // Mechatronics, automation, control. - 2007. - № 7. - P. 16-21.
- 4 Jankowski, N.A. Ammonia. Technology issues [Text] / N.A. Jankowski, I.M. Demidenko, V.A. Stepanov. - Donetsk: GIK "Novaya pechat", 2001. - 497 p.

Старший преподаватель В.Э. Меерсон

(Воронеж. гос. лесотех. академия) кафедра вычислительной техники и информационных систем, тел. (473) 253-67-08

Модели анализа функционирования производственных корпораций

В статье представлены модели анализа потокораспределения целевого продукта в установившемся режиме функционирования производственной корпорации. Рассмотрено получение модели установившегося потокораспределения целевого продукта производственной корпорации с учетом переменности потерь в участках сети на основе вариационного принципа.

The paper presents the analysis of load flow model of the expected product in the steady state operation of industrial corporations. Consider getting a steady flow distribution model of the target product manufacturing company with variable loss of parts of the network based on the variational principle.

Ключевые слова: производственная корпорация, целевой продукт, энергетический узел, модель потокораспределения

Структурное оформление производственных корпораций (ПК) предполагает наличие в их составе разнообразных по назначению подсистем и особенно это касается абонентских (пользовательских) подсистем [3]. Присутствие в последних различного рода активных элементов (подсистем принятия решений) приводит к необходимости представления структурных моделей ПК как моделей объектов с регулируемыми параметрами.

Исследуемый объект представляет собой некоторый фрагмент полной системы (ИФС, совокупность подающих целевого продукта (ЦП)), ограниченный узлами, через которые осуществляется обмен транспортируемой средой между ним и метасистемой. Такие узлы в дальнейшем будем называть энергетическими узлами (ЭУ) согласно терминологии, принятой в [2]. Несмотря на то, что производственная корпорация (ПК) обычно считается закрытой системой, потери ЦП в окружающую среду при транспортировке, восполняемой со складов и т. п., все равно существуют как нормируемые потери.

Необходимо иметь в виду, что не все активные элементы (базы, склады и т. п.) в составе ПК можно квалифицировать как энергоузлы. При моделировании будем различать источники питания и источники расхода ЦП. Применительно к ПК все активные элементы, которые обеспечивают перемещение ЦП в системе, классифицируются как источники кинетической энергии, размещаются на участках (дугах) графа и относятся к источникам расхода. Второй класс активных элементов поддерживает заданное количество ЦП в сети,

постоянно пополняя его из запасов, хранящихся на базе, складе и т. п. Этот тип элементов классифицируется как источник потенциальной энергии, относится к источникам напора ЦП, размещается в узлах ПК, которые и называются энергетическими. В структурный состав ИФС входят также подсистемы потребителей (стоки) и участки, стыкующиеся в узлах. Участки состоят из магистралей ЦП, являющихся кинематическими связями для потока, определяющих его движение.

Исследуемый фрагмент системы ограничен множеством $J_{\pi(f)}^z \cup J_{\eta(P)}^z \cup J_{\eta(q)}^z \cup J_{\eta(f)}^z$ энергоузлов, содержащим подмножества: $J_{\pi(f)}^z$ - источников и $J_{\eta(P)}^z \cup J_{\eta(q)}^z \cup J_{\eta(f)}^z$ - стоков (потребителей), связанных между собой системой трубопроводов. При индексации множества верхний индекс показывает, что множество элементов системы принадлежит к зоне, то есть автономному объекту для моделирования. Нижний индекс определяет характер элемента (η - потребитель, АП; π - источник питания; χ - энергетически нейтральный узел или узел ветвления, то есть без обмена ЦП с метасистемой). В скобках помечен параметр, фиксируемый в качестве исходных данных.

Поскольку все элементы сети обладают однозначными $h(Q)$ характеристиками, задание одного из параметров h или Q для всех элементов системы однозначно определяет ее состояние покоя (стационарный режим), а при задании возмущений, то есть изменений тех или иных параметров от времени (например изменений количества подаваемого (отбирае-

мого) ЦП или изменение в правилах принятия решений) устанавливает траекторию движения (нестационарный режим). К параметрам системы в общем случае относятся и неизбежные переменные потери ЦП при транспортировке, однако здесь для транспортируемой среды пока предполагается отсутствие потерь.

Совокупность объемных расходов ЦП g (в источниках, стоках) и Q (на участках) однозначно определяет стационарный режим течения ЦП в системе. В нестационарном режиме задаваемыми параметрами являются, кроме того, $S(\tau)$ и $\dot{Q} = dQ/d\tau$.

На поток ЦП в любом элементе по аналогии с механикой действуют следующие силы: количество ЦП, подаваемое из источников питания (базы, склады и т. п.) $H_j, j \in J^z_{\pi(f)}$; противо-

давление стоков $H_j, j \in J^z_{\eta(P)} \cup J^z_{\eta(Q)} \cup J^z_{\eta(f)}$; по-

$$C_{p \times n} \times \{R_{n(d)} + R(Q)_{n(d)}^{u(k)}\} \times Q_{n \times 1}^{u(k)} + E_{n(d)} \times \dot{Q}_{n \times 1}^{u(k)} = M_{p \times e}^t \times \hat{H}_{e \times 1}^{(k)} \pm \sum_i H(Q)_i^{u(k)}; \quad (1)$$

$$K_{r \times n} \times \{R_{n(d)} + R(Q)_{n(d)}^{u(k)}\} \times Q_{n \times 1}^{u(k)} + E_{n(d)} \times \dot{Q}_{n \times 1}^{u(k)} = 0_{r \times 1} \pm \sum_i H(Q)_i^{u(k)}; \quad (2)$$

$$A_{m \times n} \times Q_{n \times 1}^{u(k)} = \hat{g}_{m \times 1}^{(k)}; \quad (3)$$

где: $n = \{J^z\}$; $m = \{J^z_{\eta(Q)} \cup J^z_{\eta(f)}\}$;

$e = \{J^z_{\pi(f)} \cup J^z_{\eta(P)} \cup J^z_{\eta(f)}\}$ - число энергоузлов с фиксируемым (задаваемым) потенциалом; p - число независимых цепей в расчетной схеме ($p=e-1$); $R_i = S_i |Q_i|^{\alpha-1}$ - элемент диагональной матрицы, выражающий пропускную способность пассивного элемента; S_i - пропускная способность участка i ; $R(Q)_i$ - элемент диагональной матрицы, выражающий переменную нагрузку активных элементов (базы, склады и т. п.), установленного на участке i ;

$E_i = \rho L_i / g F_i$ производная расхода ЦП по времени участка i , вычисляемая по результатам двух предыдущих итераций ($k-1$) и ($k-2$) в процессе решения; g - ускорение свободного падения; ρ - плотность потока транспортируемого ЦП; L_i, F_i - длина и пропускная способность участка i соответственно; $\hat{H}, \hat{g}$ - матрицы-столбцы фиксируемых в качестве граничных условий (во времени) значений узлового потенциала и отбора (притока) для энер-

гет ЦП (отходы) на n участках ИФС ($i \in J^z$);

силы инерции при транспортировке ЦП.

Учет взаимосвязей в данной вариационной задаче осуществляется посредством введения неопределенных множителей Лагранжа, которые в предмете исследования приобретают смысл узловых потенциалов. Для формирования модели потокораспределения ЦП достаточно исключить неопределенные множители Лагранжа для узлов с нефиксированным потенциалом.

Объединяя подсистемы контурных и цепных уравнений, а также дополнив их подсистемой уравнений узловых балансов (условий неразрывности), получаем модель неустановившегося потокораспределения ЦП, которая имеет следующую векторно-матричную форму записи:

гоузда j ; $\sum_i H(Q)_i^{u(k)}$ - сумма напоров (количеств) ЦП питающих элементов, размещаемых на участке i , которые входят в соответствующую независимую цепь или контур, причем знак (+) принимается при совпадении направления действия активного элемента с направлением потока ЦП на участке и знак (-) в противном случае; $u(k)$ - номер итерации двойного цикла (внешний цикл (k) определяет шаг интегрирования по времени, а в пределах внутреннего цикла (u) выполняется расчет объекта как системы с сосредоточенными параметрами) S, K, A - матрицы смежности независимых цепей, контуров и матрица инцидентий соответственно; M - матрица маршрутов; "t" - символ транспонирования; нижние индексы указывают на число строк и столбцов матриц соответственно; "d" - признак диагональной матрицы; "1" - признак матрицы-столбца.

Модель (1)-(3) является в определенной степени приближенной, поскольку скорости изменения расхода ЦП в ней учитываются только для пассивных участков.

Модель установившегося потокораспределения ЦП может быть получена из (1)-(3) посредством исключения составляющих, зависящих от времени и, кроме того,

в этом случае отпадает необходимость внешнего итеративного цикла:

$$C_{p \times n} \times \left\{ \left(R_{n(d)} + R(Q)_{n(d)}^u \right) \times Q_{n \times 1}^u \right\} = M_{p \times e}^t \times \hat{H}_{e \times 1} \pm \sum_i H(Q)_i^u; \quad (4)$$

$$K_{r \times n} \times \left\{ \left(R_{n(d)} + R(Q)_{n(d)}^u \right) \times Q_{n \times 1}^u \right\} = 0_{r \times 1} \pm \sum_i H(Q)_i^u; \quad (5)$$

$$A_{m \times n} \times Q_{n \times 1}^u = \hat{g}_{m \times 1}; \quad (6)$$

Неучет переменности потерь ЦП для участка магистрального пути сети вследствие взаимодействия с окружающей средой, которая имеет место для реальных ПК, может привести при моделировании производственных процессов к значительным погрешностям. Поэтому требуется обобщение, прежде всего модели (4)-(6), на случай потерь ЦП при транспортировке.

По аналогии с известной в гидравлике формулой Дарси-Вейсбаха [1] запишем, что потери ЦП ΔD_i участка магистрального пути i с пропускной способностью D_i и длиной L_i при переменных потерях ЦП $T(x)$, где x – линейная координата участка сети, можно представить в виде:

$$C_{p \times n1} \left\{ \frac{\left[\left(R_{n(d)} + R(Q)_{n(d)}^u \right) \times Q_{n \times 1}^u \right]}{O} \right\} \times \frac{O}{R_{n2(d)}} \times \frac{Q_{n1 \times 1}}{Q_{n2 \times 1}} = M_{p \times e}^t \times \hat{H}_{e \times 1} \pm \sum_i H(Q)_i^u \quad (8)$$

$$K_{r \times n1} \left\{ O_{r \times n2} \times \frac{\left[\left(R_{n(d)} + R(Q)_{n(d)}^u \right) \times Q_{n \times 1}^u \right]}{O} \right\} \times \frac{O}{R_{n2(d)}} \times \frac{Q_{n1 \times 1}}{Q_{n2 \times 1}} = O_{r \times 1} \pm \sum_i H(Q)_i^u \quad (9)$$

$$A_{m \times n1} \{ A_{m \times n2} \} \times \frac{Q_{n1 \times 1}}{Q_{n2 \times 1}} = \hat{g}_{m \times 1} \quad (10)$$

$$E_{n(d)} \times (B_{n(d)} \times \Theta_{n \times 1} + T_{n \times 1}'') = -\bar{A}_{n \times m}^t \times T_{m \times n}' \quad (11)$$

$$\bar{A}_{m \times n} \times Q_{n(d)}^n \times T_{n \times 1}'' - \bar{A}_{m \times n} \times Q_{n(d)}^n \times T_{n \times 1}' = \bar{g}_{m(d)} \times T_{m \times 1}' - \bar{g}_{m(d)} \times \hat{T}_{m \times 1} \quad (12),$$

где обозначения аналогичны (1)-(3).

Переменность потерь ЦП вследствие взаимодействия с окружающей средой может быть обусловлена как технологическими, так и другими факторами, причем в последнем случае, рассматриваемом ниже, можно допустить условие $T_0 = \text{const}$. Если допустить постоянство коэффициента потерь ЦП, то для принятых граничных условий параметр $T(x)$ можно записать в виде:

$$T(x) = T_0 + (T' - T_0) \exp \left[-k\pi D x / (M C_p) \right], \quad (13)$$

а потери ЦП в конечном узле $j+1$ участка i $[j, j+1]$ определяются выражением:

$$\Delta P_i = S_i \frac{Q_i^\alpha}{D_i^\beta} \frac{1}{T} \int_{-L}^{L_i} T(x) dx = S_i \frac{Q_i^\alpha}{D_i^\beta} \frac{\bar{T}_i}{T_{-\square}} L_i; \quad (7)$$

где $T(x)$, $\bar{T}$ – переменные и усредненные по длине x участка потери ЦП соответственно; $T_{с\tau}$ – нормированные потери ЦП для приведения расхода ЦП к стандартным условиям функционирования ПК.

Поскольку режим функционирования ПК установившийся, необходимо в рамках общей постановки исключить силы инерции.

Для определения неопределенных множителей Лагранжа в задаче с такой постановкой необходимо ввести дополнительные граничные условия в узлах $[j, j+1]$, инцидентных участку i :

$$T = \begin{cases} T' \text{ при } x=0 - \text{потери ЦП в начальном узле;} \\ T'' \text{ при } x - \text{потери ЦП в конечном узле;} \\ T \text{ при } 0 < x < L - \text{текущие потери ЦП.} \end{cases}$$

Тогда математическая модель установившегося потокораспределения ЦП с учетом переменности их потерь примет вид:

$$T''_{i,j+1} = T_0 + (T'_j - T_0) \exp \left[-k\pi D_i L_i / (M_i C_p) \right], \quad (14)$$

где M_i – массовый расход транспортируемого ЦП на участке i .

Из (13) и (14) можно получить выражение для средних потерь материала на участке:

$$\bar{T}_i = T_0 + (T'_j - T_0) \frac{1 - \exp \left[-k\pi D_i L_i / (M_i C_p) \right]}{k\pi D_i L_i / (M_i C_p)}; \quad (15)$$

Учитывая, что рассматривается система с регулируемыми параметрами, переменность потерь ЦП (как и нестационарность) приводит к необходимости организации фактически тройного цикла в алгоритме реализации модели (8)-(12). Первый (внешний) осуществляет поиск поло-

жения регулирующих устройств (подсистем принятия решения) и режимов работы активных элементов. Второй (внутренний) осуществляет производственную увязку системы как объекта с сосредоточенными параметрами. Наконец, третий (внутренний) выполняет уточнение значения потерь ЦП на участках.

Модель (8)-(12) является качественно новым научным результатом формализации задач анализа потокораспределения ЦП. Она содержит в своей основе все известные до сих пор модели установившегося потокораспределения в объектах с регулируемыми параметрами.

ЛИТЕРАТУРА

1 Воеводин, А.Ф. Численные методы расчета одномерных систем [Текст] / А.Ф. Воеводин, С.М. Шугрин. – Новосибирск: Наука, 1981. – 208с.

2 Евдокимов, А.Г. Моделирование и оптимизация потокораспределения в инженерных сетях [Текст] / А.Г. Евдокимов, А.Д. Те-

вяшов, В.В. Дубровский. – М.: Стройиздат, 1990. – 368 с.

3 Меерсон, В.Э. Обобщенная модель управления производственной корпорацией [Текст] / В.Э. Меерсон // Научно – технический журнал «Моделирование систем и процессов». - 2012. – №3. - С. 112.

REFERENCES

1 Voevodin, A.F. Numerical methods for calculating one-dimensional systems [Text] / A.F. Voevodin, S.M. Shugrin. - Novosibirsk: Nauka, 1981. – 208 p.

2 Evdokimov, A.G. Simulation and optimization of flow distribution in engineering networks [Text] / A.G. Evdokimov, A.D. Tevyashov, V.V. Dubrovsky. - M.: Stroyizdat, 1990. - 368 p.

3 Meyerson, V.E. A generalized model of management of industrial corporation [Text] / V.E. Meyerson // Scientific - technical journal "Modelling of systems and processes". - 2012. - № 3. - P. 112.

Доцент Л.А. Коробова, доцент К.Н. Матусов,
ассистент О.А. Гордиенко, ассистент И.С. Кутявин

(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра информационных технологий моделирования и управления, тел. (473) 255-25-50

Организационно-технологическая система энергообеспечения и энергопотребления (ОТС «ЭНЕРГИЯ»)

Исследуются особенности организационно-технологической системы энергообеспечения и энергопотребления в производстве. Определена концептуальная схема ОТС «Энергия». Определена структура задач организационно-технологической системы управления (АСУОТ).

The features of the organizational and technological systems of energy supply and energy use in manufacturing are investigated. The conceptual framework for OTS "Energy" is defined. The structure of the organizational and technological problems of the control system is defined.

Ключевые слова: организационно-технологическая система, технологический процесс, концептуальная схема ОТС "Энергия", функциональная блок-схема задач управления в ОТС "Энергия".

Без достаточного и соответствующего вида энергии не может функционировать ни одно промышленное предприятие. Энергия поступает на предприятие либо от внешних источников, либо производится на собственных энергоустановках, либо производится за счет утилизации энергии в производственных установках предприятия [1].

В традиционном представлении система энергообеспечения и энергопотребления состоит из множеств взаимосвязанных аппаратных средств, кабельных линий, трубопроводов, энергораспределителей, переключателей, энергопреобразователей, энергоприемни-

ков и др. [2]. Технологический процесс поступления энергии представим в виде пяти стадий:

- 1 Поступление энергии.
- 2 Преобразование и производство энергии.
- 3 Распределение энергии.
- 4 Подача энергии потребителю.
- 5 Потребление энергии.

Каждой стадии соответствует энергооборудование, которое может существенно различаться в зависимости от вида энергоресурса (электрическая, тепловая и др.) (рисунок 1.). Стадии 1,2,3,4 можно отнести к подсистеме энергоснабжения (ТПЭ_Э) (рисунок 2), а стадию 5 к подсистеме энергопотребления (ТПП_Э) (рисунок 3).



Рисунок 1 - Стадии процесса энергообеспечения и энергопотребления

Кроме этого, в ОТС "ЭНЕРГИЯ" следует выделить еще один аспект представления: систему обслуживания и ремонта энергооборудования, которая, в свою очередь, характеризуется двумя стадиями: процесс обслуживания энергооборудования (ТПО_Э) (рисунок 4) и процесс ремонта энергооборудования ТПР_Э (рисунок 5). На каждой из стадий можно выделить технологические операции, которые на практике находят отражение в технологических картах, технологических регламентах, рабочих инструкциях и др. Практически все технологические операции выполняются электротехническим персоналом в рамках и ограничениях определенной организационно-технологической системы (ОТС "ЭНЕРГИЯ").



Рисунок 2 - Структура технологического процесса энергоснабжения (ТПЭ_Э)

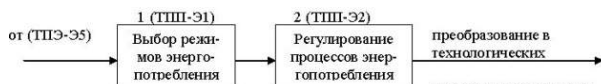


Рисунок 3 - Структура технологического процесса энергопотребления (ТПП_Э)



Рисунок 4 - Структура технологического процесса обслуживания энергооборудования (ТПО_Э)

Концептуальная схема ОТС "ЭНЕРГИЯ" должна включать четыре предметные области функционирования и управления (рисунок 6.):

- технологический процесс энергоснабжения (ТПЭ_Э);
- технологический процесс энергопотребления (ТПП_Э);
- технологический процесс обслуживания энергооборудования (ТПО_Э);
- технологический процесс ремонта энергооборудования (ТПР_Э);

Каждая из предметных областей функционирования управляется соответствующей подсистемой организационно-технологического управления:

- система управления энергоснабжением (СУТПЭ_Э);
- система управления энергопотреблением (СУТПП_Э);
- система управления обслуживанием энергооборудования (СУТПО_Э);
- система управления ремонтом энергооборудования (СУТПР_Э).



Рисунок 5 - Структура технологического процесса ремонта энергооборудования (ТПР_Э)

Неисправность энергетического оборудования неизбежно приводит к снижению производительности, полной остановке или к авариям различной сложности и, как след-

ствие, к снижению эффективности производства. В связи с этим важное значение имеет эффективность процессов управления состоянием технологического оборудования.

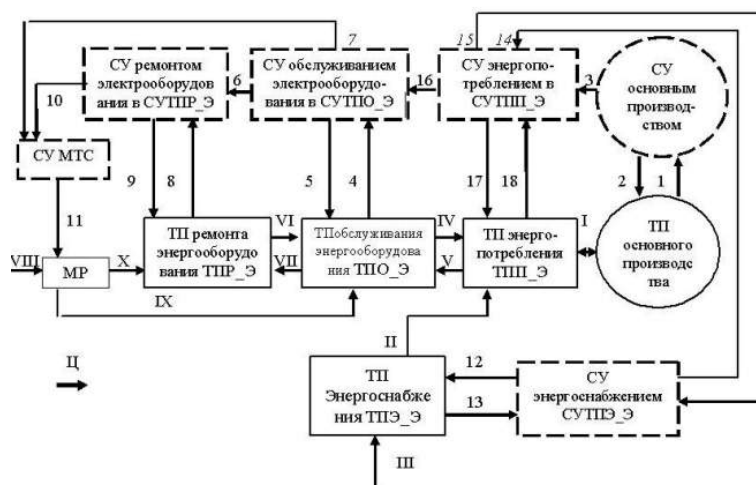


Рисунок 6 - Концептуальная схема организационно-технологической системы "ЭНЕРГИЯ", где Ц – цель функционирования; I - Взаимодействие с технологическим процессом (ТП); II- Энергия к потребителям; III- Энергия от поставщиков; IV- Энергооборудование в обслуживании, V- Энергооборудование из обслуживания; VI- Энергооборудование в ремонт; VII - Энергооборудование из ремонта; VIII – Материалы и запчасти от поставщиков; IX - Материалы и запчасти на обслуживание; X- Материалы и запчасти на ремонт;

Обобщая отмеченное, представим выделенные аспекты системы "ЭНЕРГИЯ" коротко:

$ОТС_Э < ТПЭ_Э, ТППЭ_Э, ТПОЭ_Э, ТПРЭ_Э, СУТПЭ_Э, СУТПЭЭ_Э, СУТПЭЭ_Э, СУТПЭЭ_Э, МР, ТП, Ц, Ц >, (1)$

где:

(ТПЭЭ) - технологический процесс энергоснабжения;

(ТППЭ) - технологический процесс энергопотребления;

(ТПОЭ) - технологический процесс обслуживания электрооборудования;

(ТПРЭ) - технологический процесс ремонта электрооборудования;

(СУТПЭЭ) - система управления энергоснабжением;

(СУТПЭ) - система управления энергопотреблением;

(СУТПЭЭ) - система управления обслуживанием электрооборудования;

(СУТПРЭ) - система управления ремонтом электрооборудования;

МР - материальные ресурсы;

ТП - технологический процесс основного производства;

(I- X) - материально-энергетические связи; (1..18) - информационные связи.

Информационные потоки в ОТС «Энергия» находят отражение в соответствующих документах, имеющих обращение в системе управления. Связь материальных и информационных потоков (документов) концептуальной схемы ОТС «ЭНЕРГИЯ» представлена в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Обозн. потока	Наименование потока	Характеристика потока	Носитель информации
1	2	3	4
I	Взаимодействие с технологическим процессом	Поток физически проявляется в операциях переключения и регулирования энергоресурса	Оперативный журнал технологов, дежурного электрика
II	Энергия к потребителям	Поток отражающий подачу энергии через распр. и пре-обр. систему энергоснабжения	Схемы энергоснабжения Схемы баланса. Оперативный журнал переключений. Схема контроля и учета.
III	Энергия от поставщиков	Поток, отражающий подачу энергии от внешних поставщиков	Схемы вводных устройств. Схемы разграничений. Оперативный журнал переключений. Схема контроля и учета.

1	2	3	4
IV	Энергооборудование в обслуживании	Поток, отражающий перечень энергооборудования, принятого на обслуживание	Акт монтажа, акт сдачи в эксплуатацию, журнал ввода-вывода на ремонт
V	Энергооборудование из обслуживания	Поток, отражающий перечень энергооборудования, снятого с обслуживания	Акт передачи, акт демонтажа
VI	Энергооборудование в ремонт	Поток, отражающий переход оборудования в состояние ремонта	План производства ремонтных работ, журнал ввода-вывода в ремонт, эксплуатационный паспорт, оперативный журнал электрика
VII	Энергооборудование из ремонта	Поток, отражающий переход оборудования в состояние готовности к эксплуатации	Акт готовности (завершения ремонта), журнал ввода-вывода в ремонт, эксплуатационный паспорт, отчет о вып. ремонтных работ
VIII	Материалы и запчасти от поставщиков	Поток, отражающий полный комплекс поставок через систему МТС	Сводные поставки, договора на поставку, ТГН, акты приема
IX	Материалы и запчасти на обслуживание	Поток, отражающий материалы на текущее обслуживание оборудования	Заявка на МТС, нормы материалов на обслуживание, требования, накладные
X	Материалы и запчасти на ремонт	Поток, отражающий материалы на текущий ремонт энергооборудования	Заявка на МТС, нормы материалов на ремонт, требования, накладные

Для функционирования ОТС «ЭНЕРГИЯ» требуется не только энергия, энергооборудование и материалы, но и обеспечивающие компоненты. К ним относятся:

- кадры;
- инструмент и оборудование для производства ремонтных работ;
- информационная система;
- методологическая база.

На основе анализа информационных потоков можно определить предварительную функциональную блок-схему управления в ОТС «ЭНЕРГИЯ». Анализ основных характеристик функциональных блоков системы управления ОТС «ЭНЕРГИЯ» показал, что методы решения большинства задач не формализованы, реализованы в основном ручными способами (таблица 2.)

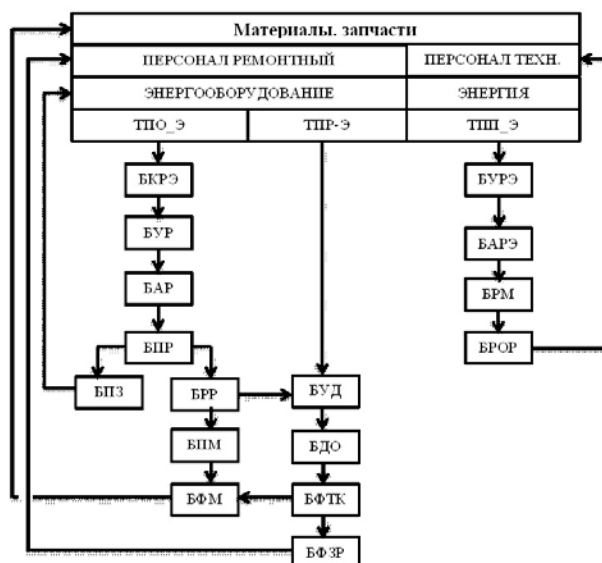


Рисунок 7 - Функциональная блок-схема управления ОТС «ЭНЕРГИЯ»

В состав АСУОТ следует включить следующие блоки задач (рисунок 7): БКРЭ - блок контроля работы энергооборудования; БУР - блок учета пробега оборудования; БАР - блок анализа работы оборудования; БПР - блок прогноза работоспособности; БПЗ - блок формирования планов замены оборудования; БФР - блок формирования планов ремонтных работ; БУД - блок расчета графика ремонта; БПМ - блок разработки мероприятий по ремонту;

БДО - блок диагностики дефектов; БФТК - блок разработки технологической карты; БФЭР - блок формирования задания на ремонт; БФМ - блок формирования заявок на материалы и запчасти; БУРЭ - блок учета расхода энергоресурса; БАРЭ - блок анализа расхода энергоресурса; БРМ - блок разработки мероприятий по снижению потерь; БРОР - блок оперативных решений по регулированию.

Т а б л и ц а 2

Обозначение блока	Функциональная характеристика блока	Результат работы блока	Существующий метод реализации	Примечание, сведения об автоматизации
БКРЭ	Функция контроля работы энергооборудования	Время начала и конца работы	Ручная регистрация в журнале	Известны системы автомат. регистрации
БУР	Функция учета пробега энергооборудования	Значение времени пробега	Ручная регистрация в журнале	Известны системы автомат. регистрации
БАР	Функция анализа работы энергооборудования	Значение технического ресурса	Нормативные методы, эксперты	Неизвестны системы автоматизации
БПР	Функция прогноза работоспособности энергооборудования	Допустимый срок эксплуатации	Ручная регистрация в журнале	Неизвестны системы автоматизации
БПЗ	Функция формирования планов замены энергооборудования	Оценка технических параметров	Эксперты диагностики	Неизвестны системы автоматизации
БРР	Функция формирования плана ремонтных работ	Характеристика ремонтных работ	Экспертный	Неизвестны системы автоматизации
БУД	Функция расчета графика ремонтных работ	График ремонтных работ	Организация и расчетные методы	Неизвестны системы автоматизации
БПМ	Функция мероприятий по ремонту энергооборудования	План организации и производства рем. работ	Эксперт, аналитик.	Неизвестны системы автоматизации
БДО	Функция диагностики энергооборудования	Диагностические параметры	Эксперт, аналитик.	Известны системы автомат. диагностики
БФТК	Функция разработки технологической карты	Заявка на материалы	Ручные расчеты	Неизвестны системы автоматизации
БФЭР	Функция формирования задания на ремонт	Задание на производство ремонтных работ	Ручные расчеты	Неизвестны системы автоматизации
БФМ	Функция формирования заявок на материалы и оборуд.	Заявка на поставку материалов и запчастей	Ручные расчеты	Неизвестны системы автоматизации
БУРЭ	Функция учета расхода энергоресурса	Значения расхода	Счетчики расхода, измерители	Известны системы автоматизации
БАРЭ	Функция анализа расхода энергоресурса	Показатели использования энергоресурса	Обработка на ЭВМ	Известны системы автоматизации
БРМ	Функция разработки мероприятий по снижению потерь	План мероприятий	Ручные расчеты	Неизвестны системы автоматизации
БРОР	Функция оперативных решений по регулированию	Управляющие воздействия	Ручные расчеты	Неизвестны системы автоматизации

Из характеристик ОТС «ЭНЕРГИЯ» следует, что она представляет собой сложную организационно-технологическую систему, распределенную в пространстве и связанную с внешними объектами множеством материальных и информационных связей. Важное значение для эффективного функционирования такой системы имеет наличие высококвалифицированного персонала и соответствующей по интеллектуальному уровню автоматизированной организационно-технологической системы управления (АСУОТ).

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Чазова, Т.Ю. Управление энергопотреблением [Текст] / Т.Ю. Чазова, А.В. Чазов. - Екатеринбург.: УГТУ, 2005. - 205 с.
- 2 Герасимов, Б.И. Моделирование организационной структуры промышленного предприятия [Электронный ресурс] / Б.И. Герасимов, А.В. Шубин, А.П. Романов. – Режим доступа: <http://www.tstu.ru/education/elib/pdf/2005/shubin.pdf>. – Загл. с экрана.

3 Кутявин, И.С. Системные принципы создания АСУ технологическим комплексом производства электролитического алюминия [Текст] / И.С. Кутявин, Б.М. Мухамадиев. - Душанбе: ТаджикНИИТИ, 1985. - 51 с.

4 Справочник «Система технического обслуживания и ремонта оборудования предприятий химической промышленности» [Текст]. - М.: Химия, 1986. - 352 с.

REFERENCES

1 Chazova, T.Y. Power management [Text] / T.Y. Chazova, A.V. Chazov. - Yekaterinburg.: USTU, 2005. – 205 p.

2 Gerasimov, B.I. Modelling the organizational structure of the industrial enterprise [Electronic resource] / B.I. Gerasimov, A.V. Shubin, A.P. Romanov. – Access mode: <http://www.tstu.ru/education/elib/pdf/2005/shubin.pdf>. - Title screen.

3 Kutyavin, I.S. System principles of ACS technological complex of electrolytic aluminum [Text] / I.S. Kutyavin, B.M. Muhamadiev. – Du-shanbe: TadjikNIINTI, 1985. – 51 p.

4 Handbook "System maintenance and repair equipment for chemical Industry" [Text]. - М.: Chemistry, 1986. – 352 p.

Профессор Е.И. Пономарева, доцент Н.Н. Алехина,
доцент А.А. Журавлев, соискатель И.А. Журавлева
(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского
и макаронного производств, тел. (473) 255-38-51

Исследование изменения кислотности в закваске спонтанного брожения

Статья посвящена исследованию изменения титруемой кислотности спонтанной закваски от температуры и продолжительности ее брожения. На основании экспериментальных данных получено уравнение регрессии, позволяющее прогнозировать и регулировать кислотонакопление спонтанной закваски и построена номограмма, имеющая важную практическую направленность.

The article deals with the changes of titratable acidity spontaneous ferment of the temperature and the duration of its fermentation. Based on experimental data the regression equation is obtained, which allows to predict and regulate acid accumulation of spontaneous fermentation and a practically significant nomogram.

Ключевые слова: исследование, закваска, зерно пшеницы, спонтанное брожение, кислотность, температура.

Производство продуктов повышенной пищевой ценности, предназначенных для предупреждения различных заболеваний, укрепления защитных функций организма и снижения риска воздействия вредных веществ является одним из основных направлений государственной политики в области здорового питания.

Наиболее естественный и эффективный способ повышения пищевой ценности хлеба – использование резервов зерна. Данному направлению соответствует технология хлеба из целого зерна, о которой свидетельствует большое количество патентоохраненных документов [1].

Таким образом, пополнить рацион современного человека натуральными витаминами, минералами и клетчаткой, которая помогает организму выводить вредные и токсичные вещества, а также благотворно воздействует на пищеварительную систему, позволяет пророщенное цельное зерно практически всех злаков [2].

Однако прорастание зерна приводит к увеличению его автолитической активности, при этом возрастает активность амилолитических и протеолитических ферментов, что снижает качество хлеба по физико-химическим показателям. Для его повышения применяют подкислители и закваски, в том числе спонтанного брожения. Использование последних также позволяет экономить дрожжи и чистые культуры молочнокислых бактерий.

Приготовление закваски спонтанного брожения связано с рядом сложных физических, биохимических и микробиологических процессов. Скорость и характер их протекания зависит от различных параметров ее приготовления: продолжительности и температуры брожения, кислотности полуфабриката.

Поэтому целью исследований явилось изучение зависимости титруемой кислотности от температуры и продолжительности брожения закваски.

Предварительно зерно пшеницы очищали от сорной и зерновой примеси, промывали и оставляли для набухания на 24 ч в воде температурой 18 – 20 °С, после чего его подвергали измельчению. Далее из диспергированного зерна и воды готовили закваску спонтанного брожения влажностью 50 %. Брожение закваски осуществляли при 25, 30, 35, 40 и 45 °С до кислотности 8,0 – 10,0 град.

С целью изучения влияния на кислотность закваски (K , град) температуры (t , °С) и продолжительности ее выбраживания ($\tau_{бр}$, ч) был проведен эксперимент. По результатам обработки экспериментальных данных было составлено уравнение регрессии (1), адекватно описывающее зависимость (при доверительной вероятности 95 %) кислотности закваски от выбранных параметров:

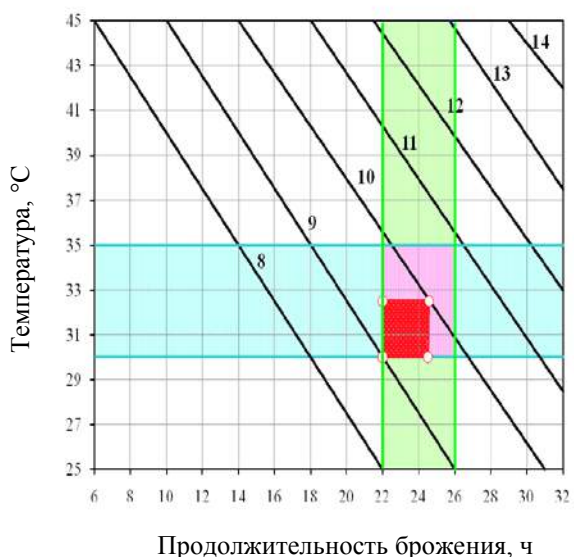
$$K = -0,81 + 0,17 \cdot \tau_{бр} + 0,15 \cdot t + 0,002 \cdot \tau_{бр} \cdot t; \quad (1)$$

Данное уравнение справедливо в диапазонах изменения температуры $30 \leq t \leq 35$ °C и продолжительности брожения закваски $22 \leq \tau_{бр} \leq 26$ ч.

В инженерных расчетах для прогнозирования значения кислотности закваски при выбранных режимах ее приготовления можно использовать номограммы. Номографический метод не содержит ошибок аналитического описания зависимостей результатов эксперимента от различных параметров и является графическим отображением этих зависимостей.

Уравнение (1) послужило основой для построения номограммы (рисунок 1), которая имеет важную практическую направленность.

Во-первых, номограмма позволяет прогнозировать значение кислотности закваски при выбранных режимах ее подготовки. Во-вторых, номограмма предоставляет возможность выбора значений продолжительности брожения закваски и ее температуры, обеспечивающих получение закваски с заданной кислотностью.



- зона заданных значений температуры брожения;
- зона заданных значений продолжительности брожения;
- область допустимых значений температуры;
- зона оптимальных значений температуры и продолжительности брожения

Рисунок 1 - Номограмма кислотонакопления закваски (числа на кривых – значения кислотности закваски, град)

Определенную практическую значимость представляет выбор параметров приготовления закваски спонтанного брожения,

обеспечивающих получение полуфабриката с заданными значениями кислотности. При этом параметры приготовления закваски – продолжительность и температура брожения должны изменяться в интервалах соответственно $22 \div 26$ ч и $30 \div 35$ °C, кислотность закваски должна быть в интервале $8,0 \div 10,0$ град. Такие пределы указанных значений были выбраны исходя из органолептических и физико-химических показателей качества закваски.

Спонтанная закваска влажностью 50 %, выброженная при температурах 25, 30, 35, 40 и 45 °C до кислотности меньше 8,0 град, обладала посторонним неприятным запахом, вследствие чего выбрано большее значение ее кислотности в пределах $8,0 \div 10,0$ град. Данные значения достигались в спонтанной закваске за 22–26 ч.

В процессе брожения закваски до заданной кислотности при температурах от 25 до 45 °C запах и вкус изменялся от слабого до ярко-выраженного кисломолочного. При повышении температуры выбраживания закваски до 30–35 °C увеличивалось количество дрожжей, что обуславливалось созданием оптимальных условий для их развития [3]. С дальнейшим увеличением температуры закваски увеличивалось количество молочнокислых бактерий. Это было ранее доказано результатами микробиологического анализа по определению содержания дрожжей и молочнокислых бактерий в спонтанной закваске, приготовленной при разных температурах брожения.

По результатам исследования спонтанной закваски установлено, что приготовление ее при заданных значениях продолжительности $22 \leq \tau_{бр} \leq 26$ ч и температуры брожения $30 \leq t \leq 35$ °C способствовало получению полуфабриката и изделий хорошего качества.

Значения вышеуказанных параметров ($22 \div 26$ ч, 30–35 °C, $8,0 \div 10,0$ град) достигаются в данной области факторного пространства (рисунок 1). Оптимальной будет являться область при параметрах приготовления закваски – продолжительности и температуры брожения в интервалах $22 \leq \tau_{бр} \leq 24,5$ ч и $30 \leq t \leq 32,7$ °C, значение кислотности при этом достигает $9,0 \div 10,0$ град.

Таким образом, нами была изучена зависимость титруемой кислотности от температуры и продолжительности брожения закваски, на основании которой получено уравнение регрессии и построена номограмма, при помощи последней были выбраны оптимальные значения параметров приготовления закваски.

ЛИТЕРАТУРА

1 Санина, Т.В. Хлеб из биоактивированного зерна пшеницы [Текст] / Т.В. Санина, Г.О. Магомедов, Н.Н. Алехина. – Воронеж: ВГТА. – 2008. – 172 с.

2 Хусанов, И. Механизм проникновения влаги в зерно [Текст] / И. Хусанов, С. Бабаев, В. Раджабова, и др. // Хлебопродукты. – 2010. – № 6. – С. 52–53.

3 Афанасьева, О.В. Биологическая хлебная закваска – путь к повышению конкурентоспособности хлебобулочных изделий с использованием ржаной муки [Текст] / О.В. Афанасьева, Л.И. Кузнецова, Е.Н. Павловская и др. // Хлебопечение России. – 2009. – № 6. – С. 18–19.

REFERENCES

1 Sanina, T.. Bioactivated bread from wheat [Text] / T.V. Sanina, G.O. Magomedov, N.N. Alekhina. – Voronezh: VSTA. – 2008. – 172 p.

2 Husanov, I. Mechanism moisture in grain [Text] / I. Husanov, S. Babaev, V. Radjabov et al // Bread. – 2010. – № 6. – P. 52–53.

3 Afanasieva, O.V. Biological sourdough bread – a way to increase the competitiveness of bread with rye flour [Text] / O.V. Afanasieva, L.I. Kuznetsova, E.N. Pavlovskaya et al // Bakery Russia – 2009. – № 6. – P.18–19.

УДК 519.856

Профессор, д.т.н. Л.Е. Мистров,

(Центр. филиал ФГБОУ ВПО РАП) кафедра правовой информатики, информационного права и естественнонаучных дисциплин, тел. 8 (910) 342-88-42

доцент Б.Е. Никитин,

(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра информационных технологий моделирования и управления, тел. (473)255-25-50

О.В. Ухин

(ООО Научно-производственный центр «Новатор Строй»)

Системное моделирование конкурентоспособности малых предприятий

Предлагаются методологические основы системного моделирования конкурентоспособности развития малых предприятий. Обосновываются методы математического программирования для моделирования исследования конкурентоспособности предприятий.

Methodological bases of system modeling of small enterprises development competitiveness are offered. There are justified methods of mathematical programming for modeling research of enterprises competitiveness.

Ключевые слова: малое предприятие, развитие, конкурентоспособность, информационное противодействие, метод, модель, критерий и показатели эффективности.

В современной экономике прослеживается устойчивая тенденция усиления роли и значения малого бизнеса. Малые предприятия (МП) выполняют ряд значимых социально-экономических функций: обеспечение занятости населения, формирование конкурентной среды, поддержание инновационной активности и смягчение социального неравенства. Однако в России большинство МП находится на грани выживания, занимаясь в основном торговой деятельностью. К основным факторам, обуславливающим низкую роль МП в ВВП, относится влияние административных барьеров ведения бизнеса, фактическое отсутствие заказов со стороны региональных и муниципальных структур на производство того или иного вида продукции и сложности с реализацией производимой продукции.

Становление и развитие МП предполагает устойчивый рост, а для этого требуется наличие научно-методического обеспечения для обоснования стратегий устойчивого развития предприятий для различных внутренних и внешних условий. В известных работах, в основном, рассматриваются вопросы экономико-математического моделирования развития МП, финансово-инвестиционного состояния их деятельности, инвестиционной привлекательности и инвестиционного потенциала.

При этом вопросы обеспечения конкурентоспособности МП для различного уровня информационной неопределенности предпринимательской среды оказались без должного внимания ученых и специалистов-практиков, предопределивших цель и содержание статьи.

В современных условиях проблема обеспечения конкурентоспособности МП стоит особенно остро, так как заинтересованность предприятий в результатах деятельности усиливает необходимость совершенствования работы всех его элементов. В общем виде конкурентоспособность можно трактовать как способность МП сохранять свое качество и возможность устойчиво продолжать стабильное развитие при изменении внешних и внутренних условий. Она зависит от трех основных составляющих – свойств МП, его возможностей и условий внешней среды, оказывающих влияние друг на друга и находящихся во взаимосвязи и взаимозависимости. Задача МП состоит в совершенствовании этих составляющих на основе их взаимодействия или обеспечения, по крайней мере, конкурентного равновесия. Классические теории экономического роста рассматривают конкурентоспособность любого предприятия, прежде всего, в связи с разработкой стратегий управления (СУ) для получения максимальной или заданного уровня прибыли.

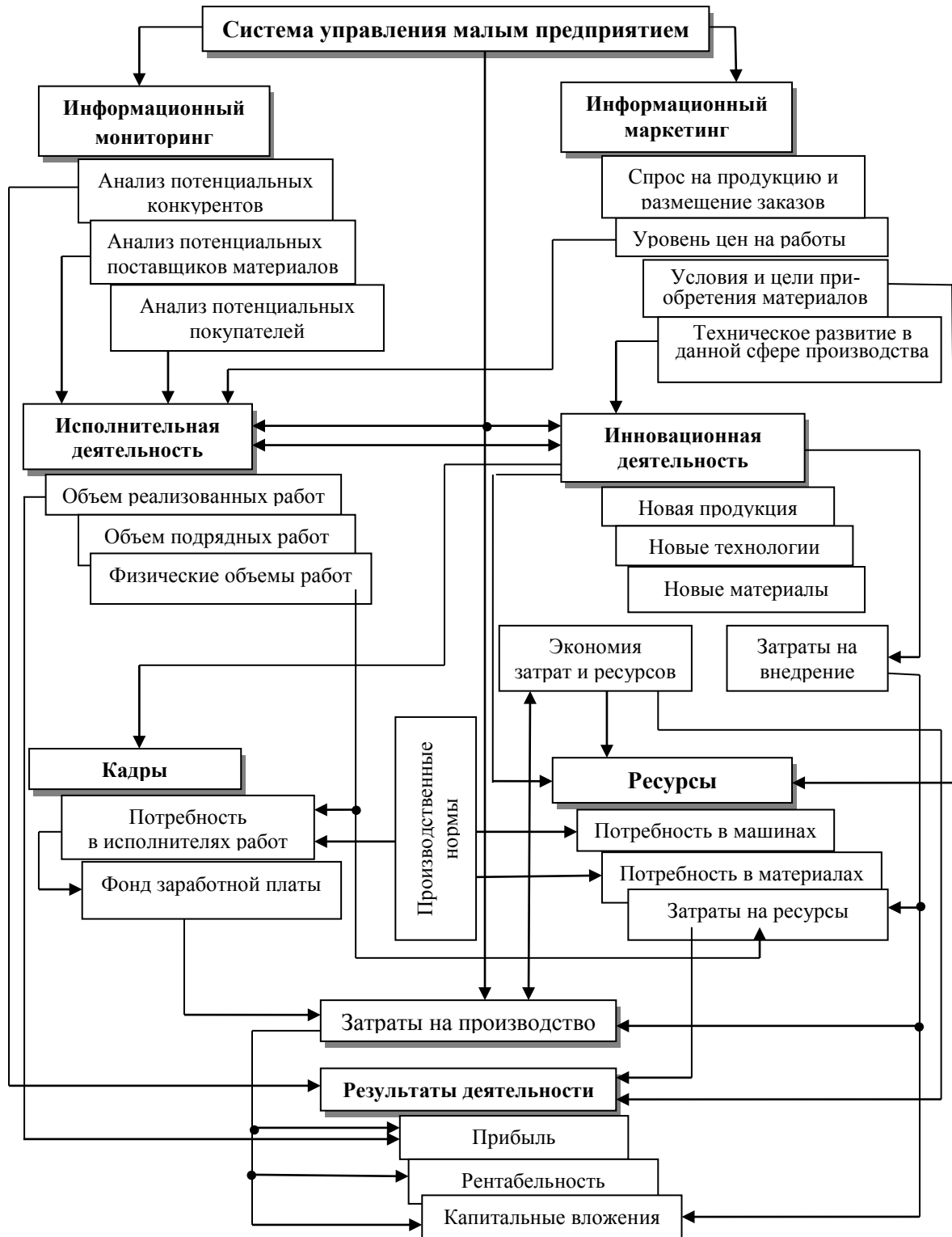


Рисунок 1 - Концептуальная модель управления малым предприятием

В общем случае конкурентоспособность предполагает некое равновесие – некий запас прочности, позволяющий МП выживать и адаптироваться к изменяющимся условиям внутренней и внешней среды [1]. Внешние факторы, определяющие конкурентоспособность МП, характере-

ризуют законодательную базу, налоговую политику, формы и виды государственной поддержки, а главное, уровень информационного противодействия со стороны конкурентов. Внутренние факторы, влияющие на конкурентоспособность МП, подразделяются на органи-

зационно-экономические (положение на рынке, производство конкурентоспособной продукции), финансовые показатели (прибыльность активов, степень зависимости от внешних кредиторов, наличие неплатежеспособных дебиторов) и личностные качества лиц, принимающих решения (ЛПР) по управлению предприятием. Их реализация базируется на методах информационного мониторинга и маркетинга, которые позволяют определить внешние условия функционирования МП, включая прогнозирование потенциальных конкурентов, поставщиков и клиентов, спрос на продукцию, условия и цены приобретения материалов, техническое развитие в сфере производства. Концептуальная модель системного представления управления МП, отражающая основные информационные взаимосвязи его элементов и последовательность выполнения отдельных этапов управления, приведена на рисунке 1.

Основу обеспечения конкурентного преимущества МП составляет компетентность ЛПР в иерархических контурах управления в области производства продукции, её реализации, поиска новых рынков сбыта, инновационной деятельности, освоения новой продукции, технологий на основе обоснования и реализации СУ его развитием в рамках определённого периода.

Для обеспечения МП динамичного и устойчивого развития за счет увеличения объемов продаж и прибыли ему требуется наличие трехуровневой системы СУ, которые используются избирательно в зависимости от условий внутренней и внешней среды. Как правило, на 1-ом уровне МП реализует СУ для усиления позиций на современном этапе развития, на 2-ом уровне – для расширения имеющихся ресурсов и конкурентных возможностей за счет освоения новых сфер бизнеса с перспективами роста. 3-ий уровень непосредственно связан с воплощением СУ по созданию бизнеса, на данный момент еще не существующего. Реализация полного множества СУ МП, как правило, не осуществляется. Большинство МП основное внимание уделяет только СУ, принадлежащих 1-му уровню, спонтанно и эпизодически проводя мероприятия 2 и 3-го уровней. Для обеспечения же динамичного и стабильного развития предприятию требуется иметь множество СУ всех уровней, начиная от краткосрочных стратегий развития и заканчивая долгосрочными мерами. При этом под СУ управления конкурентоспособностью МП понимается оформленная законодательными и нормативными актами взаимосвязанная система мероприятий, направ-

ленных на использование объективно существующих финансово-экономических и информационных отношений для достижения получения заданного уровня прибыли. Она как объективная категория, отражает объективно существующие финансово-экономические отношения, обеспечиваемые системой управления МП за счет активного и информационного воздействия на финансово-экономические отношения через разрешение внутренних и внешних условий его функционирования [2].

СУ развитием МП основываются на результатах информационного мониторинга и маркетинга в определенном сегменте целевого рынка. Исследованиям подвергаются рынок, конкуренты, потребители и производственный потенциал МП на основе установления критериев выбора СУ, оценки их действенности, создания предпосылок для принятия оптимальных решений и определения эффективности их реализации в условиях активного и информационного конкурентного противодействия. Основу СУ составляет взаимодействие элементов управляющей, информационной и исполнительной подсистем, влияющих на экономические методы и алгоритмы, а через них на информационные отношения и процесс обеспечения конкурентоспособности МП. Структура СУ конкурентоспособности МП приведена на рисунке 2.

Из рисунка 2 следует, что основной целью управления МП является обеспечение устойчивого развития. В результате реализации какой-либо СУ состояние МП переходит от одного уровня конкурентоспособности к другому. Владея информацией о предельных границах изменения эффективности элементов МП можно управлять внутренними условиями устойчивого развития, что предполагает определение критических значений его состояния и ориентации на эти значения. То есть, конкурентоспособность МП охарактеризуется его способностью устойчиво выполнять присущие ему функции при воздействии различных факторов и обеспечивать при этом заданные финансово-хозяйственные результаты.

Управление МП достигается множеством методов, алгоритмов и многовариантных методических подходов к оценке последствий возникновения тех или иных ситуаций как функции изменения сопутствующих этим ситуациям условий. Его оптимизация позволяет ЛПР планировать деятельность МП для обеспечения получения максимально возможной прибыли с минимальными затратами в условиях изменчивости состояния рынка.

СУ развитием любого МП можно охарактеризовать как наступательные или оборонительные [2], позволяющие на основе методов информационного мониторинга и маркетинга оптимизировать распределение информационно-технологических ресурсов для создания и поддержания конкурентного превосходства. Наступательные СУ направлены на производство новых товаров, выход на новые рынки сбыта и завоевание конкурентного превосходства. С этой целью на основе

методов информационного мониторинга и маркетинга формируется эксклюзивная информация, используемая в качестве исходных данных при выработке СУ конкурентоспособностью МП. Данные методы нацелены на информационно-аналитическое обоснование поиска и выбора оптимальных решений завоевания и освоения новых рынков сбыта, осуществление программ модернизации и диверсификации производства, а также оптимизацию товародвижения.



Рисунок 2 - Структура стратегий управления конкурентоспособностью малым предприятием

Для обеспечения заданной прибыли ЛПР вынуждены анализировать внешние и внутренние условия функционирования МП для получения оценки его возможностей развития и разрабатывать систему методов и средств повышения конкурентоспособности. Это мо-

жет достигаться фиксацией характеристик его элементов управления, информационного обеспечения и исполнения, связей и взаимодействия между ними, а также оптимизации системных функций и свойств. В общем случае можно оптимизировать некоторую сово-

купность взаимосвязей, свойств и реализуемых элементами МП функций, которые в какой-то мере установлены, а также ту их совокупность, которая подлежит определению. Это позволяет представить МП в виде некоторого подмножества подсистем как отдельных моделей, подлежащих исследованию на новых системных взаимосвязях, функциях и свойствах.

С позиции системного подхода принципиальной особенностью МП, как малого и среднего уровня организационно-технических систем, является присутствие человека в качестве активного элемента в контурах принятия решений. Это обусловлено тем, что СУ конкурентоспособностью МП характеризуются двумя взаимосвязанными обстоятельствами. Объективная их сторона проявляется в выполнении требований объективных рыночных законов, субъективная сторона – в решении тех или иных задач ЛПР на различных этапах развития МП.

Быстрые изменения внутренней и внешней среды функционирования МП обуславливают необходимость разработки научных подходов к управлению его конкурентоспособностью на основе исследования эффективности развития предприятия по интегральным показателям конкурентоспособности и формирования на основе выявленных отклонений предпочтительного варианта развития, т.е. формирования стратегии устойчивого развития.

Основу управления МП составляют методы математического моделирования, позволяющие с единых методических позиций обосновать задачи развития предприятия, определить причинно-следственные информационные взаимодействия элементов конкурентной среды, обосновать СУ конкурентоспособностью путем управляющего воздействия на внешние и внутренние условия функционирования и разработать эффективные варианты стратегических и оперативных стратегий управления его развитием. Особенности математических методов состоят в воспроизведении свойств, функций и способов функционирования МП, которым присуще: соответствие с моделируемым предприятием; общность свойств моделируемого предприятия, необходимых для целей исследований; способность к формализованному представлению функционирования предприятия и наличие четких правил перехода от модельной информации к информации о конкретном предприятии.

В качестве методов математического моделирования для определения оптимальных решений наиболее часто используются методы

линейного, нелинейного, динамического и т.д. математического программирования. Особенностью решения задачи математического моделирования процессов обеспечения конкурентоспособности МП является необходимость учета множества переменных величин, характеризующих изменение внешних и внутренних условий информационного воздействия и обуславливающих наличие различного рода неопределенностей. Исходя из этого, для решения задачи возможно использование методов теорий многоуровневых иерархических систем, исследования операций, оптимального управления, распределения ресурсов и координации для обоснования СУ конкурентоспособностью МП, позволяющим сбалансировать задачу его функционирования со всеми видами ресурсов, оценить реальность и устойчивость принимаемых решений, выработать решения по предотвращению возможных отклонений от заданных в процессе реализации плана.

При выборе оптимальных СУ конкурентоспособностью МП, заключающихся в определении оптимальных вариантов разрешения внешних и внутренних условий его функционирования, общая задача исследования конкурентоспособности представляется в виде совокупности задач математического программирования, основанных на содержательном анализе задач его развития. При этом разработка управляющих воздействий, направленных на реализацию СУ конкурентоспособностью МП, разделяется на этапы [2]:

- анализ и формирование вариантов СУ;
- оценка эффективности каждого из вариантов СУ;
- выбор наиболее эффективной СУ из генерируемого множества вариантов.

Учитывая, что объекты и субъекты реализации СУ управления конкурентоспособностью МП находятся в информационных взаимосвязях, возможно унифицировать их модельное представление в виде совокупности отдельных моделей, каждая из которых на каждом из этапов управления МП наполняется конкретным содержанием с использованием того или иного метода математического программирования. При таком описании совокупность СУ конкурентоспособностью МП отражается в структуре взаимосвязей между различными элементами, к основным из которых относятся отношения информационного взаимодействия (противодействия) в динамике функционирования и реализации продукции.

На выбор метода моделирования задачи исследования эффективности конкурентоспособности МП определяющее влияние оказывают особенности исследуемого информационного процесса, к наиболее значимым особенностям относятся множество учитываемых параметров; иерархическая структура элементов и нелинейность связей между ними; дискретный и вероятностный характер протекающих процессов. Основу исследования эффективности МП составляют имитационные модели, как правило, в двух вариантах: аналитические и стохастические, направленные на воспроизведение особенностей его функционирования в условиях информационного воздействия для оптимизации возможного соотношения анализируемых параметров предприятия с целью выбора наиболее эффективного варианта достижения целей конкурентоспособности по показателям прибыли или рентабельности. В структуре моделируемого процесса выделяются управляющая, информационная и исполнительная подсистемы, связанные с исследованием изменений анализируемого варианта СУ конкурентоспособностью МП. Их функционирование оценивается по результатам завершения моделируемого этапа функционирования МП за данный временной отрезок за счет применения на нем целесообразного управленческого воздействия. Опыт разработки таких моделей показал, что для исследовательских целей приемлемы как те, так и другие. Вместе с тем, стохастические модели имеют ряд существенных недостатков, связанных с необходимостью набора статистики и расчета большого количества реализаций процессов; для аналитического же метода требуется формальное представление исследуемого процесса. Поэтому для получения основных зависимостей интегрального показателя эффективности (ПЭ) МП от различных вариантов СУ целесообразно использование смешанного аналитико-стохастического метода моделирования.

Сущность аналитико-стохастического метода состоит в следующем. Временной непрерывный процесс функционирования МП заменяется дискретным процессом. При этом используются два типа процесса: дискретный с постоянным шагом и дискретный с переменным шагом. Модель с постоянным шагом (или циклом) используется для формирования пространства состояний элементов МП и формирования назначения средств и подсистем (комплексов). Процесс функционирования отдельных средств моделируется с переменным ша-

гом, соответствующим длительности их пребывания в том или ином состоянии.

При аналитико-стохастическом методе расчет моментов (вероятностей) перехода элементов из состояния в состояние, а также свертка вероятностей по этапам и уровням функционирования этих элементов и МП, осуществляется с использованием аналитических функций, которые являются статистическими эквивалентами элементов. Эти аналитические функции зависят от обстановки, которая формируется всякий раз к рассматриваемому дискретному моменту времени. Таким образом, просматривается взаимосвязь значений верхнего ПЭ функционирования МП от изменяющихся во времени внутренних и внешних условий.

Вследствие физической последовательности работы ЛПР по этапам функционирования представляется возможность декомпозировать общую задачу исследования конкурентоспособности МП на ряд частных. Метод представляет трехуровневую иерархическую аналитико-стохастическую модель, воспроизводящую пространственно-временную динамику процесса функционирования МП и состоит из системы взаимосвязанных и согласованных по ПЭ, входной и выходной информации частных моделей, позволяющих рассчитать значение выбранного интегрального показателя эффективности.

Построение модели осуществляется на основе реализации следующих принципов моделирования [3].

Каждая подсистема (комплексы) и средства декомпозируются на типовые элементы, функционирование которых должно найти отражение в модели.

Каждому выбранному типовому элементу ставится в соответствие множество этапов функционирования, в которых он может пребывать при функционировании (этап получения информации, этап обнаружения, этап оценки обстановки, этап принятия решения и т.д.) и ряд переменных величин, которые в зависимости от состояния данного и других элементов МП характеризуют возможность выполнения тех или иных функциональных задач. Каждый этап характеризуется принятием некоторого решения (задача выполнена - задача не выполнена и т.д.). Принятие каждого решения соответствует переходу элемента в особое состояние. Переходы могут быть детерминированными и вероятностными.

Длительность пребывания, моменты и вероятности перехода элементов из состояния в состояние определяют временной процесс функционирования рассматриваемого элемента. Функционирование подсистем (комплексов) моделируется как взаимосвязанное функционирование их элементов, которое выражается в последовательном обобщении вероятностей переходов из состояния в состояние. Длительности пребывания в состояниях и моменты перехода определяют временную структуру процесса функционирования средств, подсистем (комплексов) и МП. Непосредственно следующий момент абсолютного времени МП в целом определяется как ближайший из всех будущих моментов перехода из состояния в состояние составляющих его элементов. Количественная оценка эффективности МП, исходя из его многоуровневого представления, осуществляется по интегральному ПЭ, определяющему основные направления поиска характеристик предприятия для достижения поставленной цели. Внутреннее строение структуры МП определяет исходя из его многоуровневого представления и взаимообусловленную структуру его ПЭ на уровне: средств, подсистем (комплексов) и собственно МП (спуск по иерархическим уровням обеспечивает детальное раскрытие МП; подъем же обеспечивает раскрытие смысла и назначения предприятия). Данным иерархическим ПЭ ставятся в соответствие информационные, внутрисистемные и межсистемные (интегральные) ПЭ. В основу их расчета положено составление временного баланса, располагаемого соответственно средством, подсистемой (комплексом) и МП в условиях информационного конкурентного противодействия с нормативным для эффективного выполнения поставленной задачи.

Таким образом, предложенные методологические основы системного моделирования конкурентоспособности МП показывают, что в условиях интенсивной конкуренции претерпевают существенные изменения состав, структура, критерии и показатели эффективности, ограничения, предельные значения определяющих параметров и области поиска и принятия СУ развития. При этом на конкурентоспо-

собность предприятий оказывает определяющее влияние информационное противодействие со стороны конкурентов, требующее дальнейшего развития методов математического программирования для обоснования СУ конкурентоспособностью МП. Применение математических моделей и методов позволяет структурировать данную проблему на иерархическую систему взаимосвязанных по входной и выходной информации (ПЭ) частных методов для анализа, оптимизации и выбора предпочтительных стратегий управления конкурентоспособностью малых предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Мистров, Л.Е. Конфликтная устойчивость взаимодействия организационно-технических систем: общие понятия, научные подходы, метод синтеза [Текст] / Л.Е. Мистров // Научные технологии. – 2011. – №4. – Т. 12. – С. 70 – 80.
- 2 Мистров, Л.Е. Методологические основы синтеза систем (структур) информационного менеджмента [Текст] / Л.Е. Мистров // Информационные войны. – 2012. – №1. – С. 17 – 24.
- 3 Мистров, Л.Е. Методический подход к моделированию действий функциональных организационно-технических систем в конфликте [Текст] / Л.Е. Мистров // Наука производству. – 2004. – №11. – С. 58 – 63

REFERENCES

- 1 Mistrov, L.E. The conflict stability of interaction of organizational and technical systems: general concepts, scientific approaches, synthesis [Text] / L.E Mistrov // High technologies. – 2011. – №. 4. – V. 12. – P. 70–80.
- 2 Mistrov, L.E. Methodological bases of synthesis of systems (structures) of information management [Text] / L.E. Mistrov//Information wars. - 2012. №1. – P. 17 – 24.
- 3 Mistrov, L.E. Methodical approach to modeling of actions of functional organizational and technical systems in conflict [Text] / L.E. Mistrov // Science to production. – 2004. – №. 11. – P. 58 – 63

Старший преподаватель П.А. Здоровцев
(Обнинский институт атомной энергетики – филиал НИЯУ МИФИ)
кафедра прикладной математики, тел. (48439) 3-17-82

Имитационное моделирование процесса медленной пространственно неоднородной коагуляции

Рассматривается новая модель имитационного моделирования процесса пространственно неоднородной коагуляции, т.е. объединения мелких частиц дисперсных систем в более крупные, для произвольного спектра скоростей свободного переноса частиц. Производится сравнение результатов моделирования с известными аналитическими и численными решениями.

A new model of spatially inhomogeneous coagulation, i.e. formation of larger clusters by joint interaction of smaller ones, is under study. The results of simulation are compared with known analytical and numerical solutions.

Ключевые слова: имитационное моделирование, коагуляция, метод Монте-Карло.

Актуальность темы исследования определяется тем, что явление коагуляции, т.е. объединения мелких частиц дисперсных систем в более крупные, является достаточно распространенным в реальных практических задачах в области метеорологии и экологии, материаловедении, и т.д.

Необходимость применения математического моделирования для описания динамики систем коагулирующих частиц объясняется необходимостью построения соответствия между распределением частиц в реальных физических системах и решениями уравнения Больцмана. В настоящее время найдены точные решения уравнения Больцмана для сравнительно простых случаев малых градиентов температуры, скорости и концентраций в газе. Уравнение коагуляции Смолуховского, описывающее динамику коагулирующих дисперсных систем зачастую не имеет классического аналитического решения, что делает необходимым применение методов прямого имитационного моделирования для описания состояния системы.

Широкий спектр приложений теории коагуляции в науке и технике ставит задачу разработки адекватных математических моделей динамики дисперсных систем, состоящих из взаимодействующих между собой частиц, их обоснования и тестирования, а также создания алгоритмов и программного обеспечения для имитационного моделирования на уровне отдельных частиц, основанного на применении метода Монте-Карло.

Рассмотрим систему, состоящую из статистически большого количества хаотически движущихся вдоль одной оси частиц. Ключевой характеристикой, определяющей поведение частицы, является ее масса m . Для упрощения, без ограничения общности, ограничим значения масс частиц натуральными значениями. Скорость переноса частиц системы между актами взаимодействия v_m зависит от их массы. В процессе своего движения частицы системы испытывают парные соударения.

Слияние двух частиц с массами m_1 и m_2 в кластер суммарной массы происходит с некоторой вероятностью Φ_{m_1, m_2} , которая определяется особенностями рассматриваемых физических систем. Пусть концентрация частиц массы m в окрестности точки x в момент времени $t \geq 0$ равна $u_m(x, t)$, $m = 1, 2, \dots$. Эволюция множества концентраций частиц различных масс во времени определяется решением задачи Коши для пространственно неоднородного уравнения Смолуховского:

$$\frac{\partial u_m(x, t)}{\partial t} + v_m \frac{\partial u_m(x, t)}{\partial x} = S_m(u(x, t)),$$

$$x \in \mathbb{R}, \quad m \in \mathbb{N}, \quad t \geq 0, \quad (1)$$

где оператор столкновений Смолуховского

$$S_m(u(x, t)) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{m-1} \Phi_{m-j, j} u_{m-j} u_j - u_m \sum_{j=1}^{\infty} \Phi_{m, j} u_j \quad (2)$$

Уравнение (1) дополняется начальными данными:

$$u_k(x, 0) = u_k^0(x) \geq 0, \quad k \in \mathbb{N}, \quad x \in \mathbb{R}. \quad (3)$$

Теорема существования обобщенных решений задачи Коши (1) – (3) доказана в [1] методом компенсированной компактности для последовательности гладких неотрицательных решений конечномерных задач (1)–(3)

$\{u_{m, M_0}\}_{M_0=1}^\infty$ при $M_0 \rightarrow \infty$, полученных заменой оператора (2) в уравнении (1) его конечномерными аппроксимациями $S_k^{(M_0)} = I_m^{(M_0)} S_m(I^{(M_0)} \cdot u)$, где $I_m^{(M_0)}$ – индикатор натуральных чисел, не превосходящих M_0 .

Во множестве пространственных координат размещены частицы, занумерованные натуральными числами $1 \leq i \leq N$, $N \geq 1$. Каждому номеру i соответствует величина $m_i(t)$, которая равна массе i -й частицы, а ее пространственные координаты обозначим $x_i(t)$. Если $m_i(t) = 0$ для всех ячеек, то частица с номером i отсутствует в системе. Условимся, если частица присутствует в системе, то она может находиться в данный момент времени только в одной ячейке. Таким образом, в каждый момент времени состояние системы задается распределением масс $m(t) = \{m_i(t)\}_{i=1}^N$ и пространственных координат $\{x_i(t)\}_{i=1}^N$.

Пусть значения времени t принимают дискретные значения $t_n = n\tau$, $n \in \mathbb{Z}^+$, $\tau > 0$.

Частицы системы в момент времени t_n могут участвовать в парных взаимодействиях, приводящих к их коагуляции. Акты парных столкновений и коагуляции разыгрываются случайным образом так, что:

$$P\{\pi^{(s)}(t_n) = (i, j)\} = 1/C_N^2, \quad (4)$$

$$1 \leq s \leq Q(N)$$

Возможные пары сталкивающихся частиц системы в момент времени t_n выберем как значения набора $\{\pi^{(s)}(t_n)\}_{s=1}^{Q(N)}$, накладывая дополнительное ограничение: если хотя бы один из номеров, входящих в пару $\pi^{(s)}(t_n)$

при $s \geq 2$, входит в одну из пар $\pi^{(1)}(t_n), \dots, \pi^{(s-1)}(t_n)$, то для пары $\pi^{(s)}(t_n)$ коагуляция в системе в момент времени t_n не происходит. Тем самым исключаются многократные взаимодействия для каждой частицы коагулирующей системы.

Подсчитаем вероятность выбора пары взаимодействующих частиц с номерами (i, j) $1 \leq i < j \leq N$. Вероятность выбора этой пары на S -м шаге в серии $1 \leq s \leq Q(N)$ независимых испытаний равна:

$$\left(\frac{C_{N-2}^2}{C_N^2}\right)^{s-1} \cdot \frac{1}{C_N^2}, \quad (5)$$

где первый сомножитель является вероятностью того, что в первых $(s-1)$ -м испытаниях во множестве Δ не появлялась пара с заданными номерами частиц i или j . Второй сомножитель – это вероятность выбора искомой пары на последнем шаге. Таким образом, вероятность выбора пары (i, j) из множества Δ на одном из шагов в серии $1 \leq s \leq Q(N)$ независимых испытаний равна сумме геометрической прогрессии указанных вероятностей, которая равна:

$$\frac{1 - \left(\frac{C_{N-2}^2}{C_N^2}\right)^{Q(N)}}{C_N^2 - C_{N-2}^2} \quad (6)$$

Если число повторных испытаний $Q(N)$ по выбору пары взаимодействующих частиц таково, что величина $Q(N)N^{-1} \rightarrow \infty$, то при больших значениях N имеем:

$$\frac{1 - \left(\frac{C_{N-2}^2}{C_N^2}\right)^{Q(N)}}{C_N^2 - C_{N-2}^2} \sim \frac{1}{2N} \quad (7)$$

Возможность коагуляции для выбранных вышеуказанным способом пар номеров сталкивающихся частиц определим разыгрываем совокупности независимых случайных величин $\eta_{(i,j)}(t_n)$, $(i, j) \in \Delta$, принимающих два значения: 0 и 1. Значение 0 означает запрет коагуляции, а 1 – наличие коагуляции для пары частиц с номерами (i, j) если их пространственные координаты в мо-

мент времени t_n подчиняются условию $|x_i(t_n) - x_j(t_n)| \leq h$, где $h > 0$ – характерный пространственный масштаб парного взаимодействия частиц. Розыгрыш этих значений подчиним следующим правилам. Положим, что $\eta_{(i,j)}(t_n) = 0$, если $m_i(t_n)m_j(t_n) = 0$, т.е. при отсутствии, по крайней мере, одной из частиц в паре коагуляция не происходит. Если $m_i(t_n)m_j(t_n) > 0$, то значения случайной величины $\eta_{(i,j)}(t_n)$ задаются условной функцией распределения:

$$P\{\eta_{(i,j)}(t_n) = 1\} = \Phi_{m_i(t_n), m_j(t_n)}, \quad (8)$$

$$P\{\eta_{(i,j)}(t_n) = 0\} = 1 - \Phi_{m_i(t_n), m_j(t_n)}, \quad (9)$$

где $0 \leq \Phi_{m_1, m_2} = \Phi_{m_2, m_1} \leq 1$ – вероятность коагуляции сталкивающейся пары частиц с массами m_1 и m_2 .

Если пара $(i, j) \in \Delta$ выбрана и значение $\eta_{(i,j)}(t_n) = 1$, то значение вектора состояния $m(t_n)$ преобразуется по следующему правилу:

$$m_\alpha(t_n) \mapsto \bar{m}_\alpha(t_n) = m_\alpha(t_n), \quad \alpha \neq i, \quad (10)$$

$$m_i(t_n) \mapsto \bar{m}_i(t_n) = m_i(t_n) + m_j(t_n)$$

$$m_j(t_n) \mapsto \bar{m}_j(t_n) = 0.$$

Если же $\eta_{(i,j)}(t_n) = 0$, то значения $m_\alpha(t_n)$, $1 \leq \alpha \leq N$ остаются неизменными. Указанная процедура выполняется для всех пар выбранных номеров последовательным перебором $\pi^{(1)}(t_n), \dots, \pi^{(Q(N))}(t_n)$.

Рассмотрим числа заполнения пространственных ячеек с центром в заданных точках $x^{(l)} \in O_X$, которые обозначим:

$$D_l \stackrel{\text{def}}{=} \{x \in O_X : |x - x^{(l)}| \leq \frac{h}{2}\}, \quad (11)$$

частицами массы $m \in \mathbb{N}$:

$$N_m^{(l)}(t_n) \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{i=1}^N \delta_{m, m_i(t_n)} \theta(0.5h - |x_i(t_n) - x^{(l)}|). \quad (12)$$

Здесь θ – функция Хевисайда. Вышеуказанной процедуре розыгрыша актов коагуляции сталкивающихся частиц в ячейке D_l соответствует преобразование чисел заполнения $N_k^{(l)}(t_n) \mapsto \bar{N}_k^{(l)}(t_n)$.

После завершения розыгрыша актов слияния частиц коагулирующей пространственно неоднородной системы осуществляется перемещение частиц вдоль пространственной оси. Положим, что v_m – скорость пространственного переноса частицы массы $k \in \mathbb{N}$. Размер пространственных ячеек h и шаг по времени τ подчиним условию $\tau h^{-1} = 1$. Тогда, если частица с номером i имеет массу m , то за время τ она перемещается в пространстве O_X по закону $x_i(t_n + \tau) = x_i(t_n) + v_m \tau$. Тем самым определяется состояние коагулирующей системы в момент времени t_{n+1} .

Далее вновь разыгрываются акты коагуляции, осуществляется пространственный перенос и т.д. Таким образом, полностью определена эволюция системы для всех $t_n \geq 0$.

Обозначим величиной $\langle N_m^{(l)}(t_n) \rangle$ среднее число частиц массы m в ячейке D_l в момент времени $t_n \geq 0$. Положим:

$$u_{m,N}^{(l)}(t_n) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\langle N_m^{(l)}(t_n) \rangle}{Nh}, \quad (13)$$

– средняя концентрация частиц массы m в ячейке D_l в момент времени t_n .

Воспользуемся приведенной в работе [2] разностной схемой для поиска решения задачи Коши уравнения Смолуховского.

Для проверки корректности построенной модели воспользуемся условиями тестовых примеров работ [3], [4].

Положим начальные условия и значения ядер коагуляции:

$$\Phi_{m_1, m_2} = |m_1 - m_2|,$$

$$\varphi_1(x) = \varphi_2(x) = \frac{1}{2} \theta(x) \theta(1-x), \quad |x| < \infty. \quad (14)$$

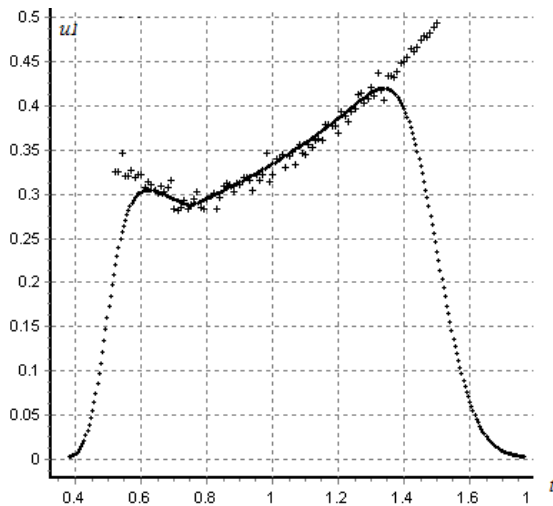


Рисунок 1 - Начальная загрузка 10 тыс. частиц;
— Разностная схема, +++ Вычислительный эксперимент. Сечение $u_1(t)$ при $x = 1,5$.

В следующем тестовом примере положим интенсивность коагуляции, начальные скорости и массы частиц в виде:

$$\begin{aligned} \Phi_{m_1, m_2} &= 1, \\ v_k &= \frac{(-1)^k}{k}, \\ \phi(x) &= \begin{cases} \frac{1}{2^k} e^{-x}, & 0 < x < 1 \\ 0, & x > 1 \end{cases}. \end{aligned} \quad (15)$$

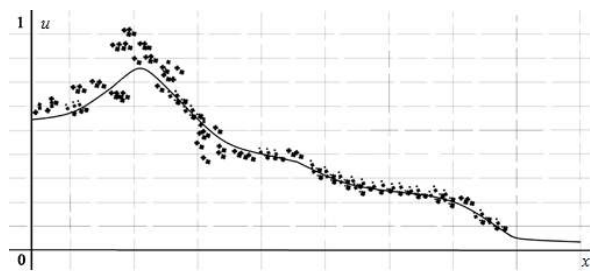


Рисунок 2 - Начальная загрузка 20 тыс. частиц
— Разностная схема, +++ Вычислительный эксперимент. Полная концентрация $u(x)$ при $t = 0,5$.

На основе анализа полученных данных можно сделать вывод о наличии достаточно хорошего согласования между результатами предложенного алгоритма прямого имитационного моделирования и аналитическими решениями задачи Коши для уравнения Смолуховского пространственно неоднородной коагуляции.

ЛИТЕРАТУРА

1 Галкин, В.А. Анализ математических моделей: системы законов сохранения, уравнения Больцмана и Смолуховского [Текст] / В.А. Галкин. – М.: Бинوم. – 2009.

2 Здоровцев, П.А. Вычислительная модель пространственно неоднородной медленной коагуляции [Текст] / П.А. Здоровцев и др. // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2012. – Т. 52. – № 11. – С. 2101–2112.

3 Здоровцев, П.А. Решения моментных цепочек для уравнения переноса и их приближения [Текст] / П.А. Здоровцев и др. // Математическое моделирование. – 2012. – Т. 24. – № 11. – С. 65–71.

REFERENCES

1 Galkin, V.A. Analysis of mathematical models of the system of conservation laws, Boltzmann and Smoluchowski equation [Text] / V.A. Galkin. - M.: Binom. - 2009.

2 Zdorovtsev, P.A. The computational model of a spatially inhomogeneous slow coagulation [Text] / P.A. Zdorovtsev et al // Journal of computational mathematics and mathematical physics. - 2012. - V. 52. - № 11. - P. 2101-2112.

3 Zdorovtsev, P.A. Solutions of moment sequence for the transport equation and its approximation [Text] / P.A. Zdorovtsev et al // Mathematical modeling. - 2012. - V. 24. - № 11. - P. 65-71.

УДК 681.514.015

Профессор В.В. Шитов, аспирант Д.Ю. Уразов

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра промышленной энергетики, тел. (473) 255-44-66

доцент А.Н. Рязанов

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра машин и аппаратов пищевых производств, тел. (473) 255-38-96

доцент А.Л. Ивашин

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра информационных технологий моделирования и управления, тел. (473) 255-25-50

Разработка архитектуры программного обеспечения универсальной системы тепловизионной диагностики

Формирование требований и разработка архитектуры программного обеспечения универсальной системы тепловизионной диагностики. Описание базовых алгоритмов функционирования системы.

Formation of requirements and the development of the software architecture of a universal system thermal imaging diagnostics. Description of the basic algorithms of the system.

Ключевые слова: тепловизионная диагностика, архитектура программной системы.

Целью разработки универсальной тепловизионной системы является обеспечение выполнения следующих функций в автоматическом режиме: обеспечение работы с тепловизионным устройством (тепловизионной камерой); указание методов и условий оповещения пользователя в случаях выхода температуры объекта за рамки допустимых значений; осуществление сохранения статистической информации в процессе слежения и генерирование отчетности по ней.

Разрабатываемая интеллектуальная система должна поддерживать приведенные ниже режимы функционирования: основной режим, в котором выполняются все поддерживаемые функции; профилактический режим, в котором выполнение всех функций не гарантировано, за исключением функции регистрации.

Основной режим предполагает выполнение всех функций в режиме (24x7). В профилактическом режиме обеспечивается техническое обслуживание и устранение аварийных ситуаций.

Общее время проведения профилактических работ не должно превышать 1% от общего времени работы системы в основном режиме всего времени эксплуатации в рамках одного цикла.

Структурная схема разрабатываемой системы приведена на рисунке 1. На данной схеме под смешанным взаимодействием подразумевается, что обмен данными может производиться или по сетевому протоколу или с использованием, например, разделяемой памяти внутри локальной машины.

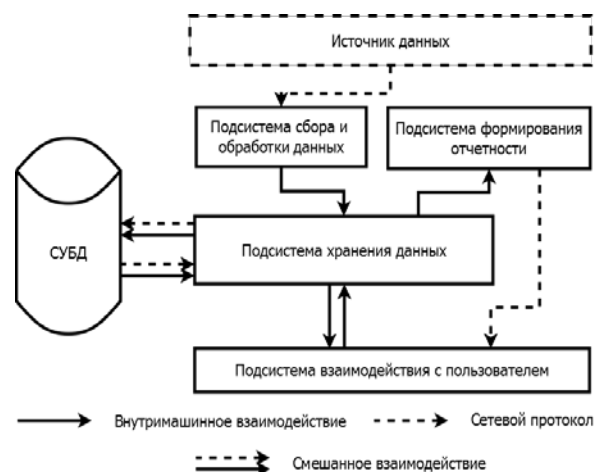


Рисунок 1 - Структурная схема подсистем

Ниже приведены требования к функциям разрабатываемых подсистем.

Подсистема сбора данных, которая предназначена для реализации процессов сбора данных из систем источников, приведения указанных данных к виду, необходимому для наполнения подсистемы хранения данных, обеспечивает выполнение следующих функций:

- интерпретацию полученных от источника данных в пригодную для дальнейшей обработки форму [1,2];
- осуществление вычислений по модели искомым параметрам.

Подсистема формирования отчетности должна обеспечивать выполнение следующих функций:

- формирование текущей (регулярной) отчетности о состоянии работы системы;
- формирование аварийной отчетности, возникающей в случае вывода измеряемых или расчетных показателей за допустимые пределы;
- оперативное извещение пользователей о нештатных ситуациях в процессе работы системы.

С учетом общей клиент-серверной архитектуры системы, разумным методом реализации оповещения является оповещение посредством электронной почты. Функционал реализуемой подсистемы должен включать в себя следующие возможности:

- привязка адресов электронной почты к пользователям системы;
- настраиваемые параметры управления рассылкой (по времени, по уровням оповещения в таблице 1);
- настраиваемые параметры управления видом и объемом отчетности.

Т а б л и ц а 1

Уровни оповещения

Уровень	Наименование уровня	Описание уровня
0	Уровень неработоспособности	Сигнализирует о невыполнении системой собственных функций по управлению и/или мониторингу
1	Уровень ошибок	Сигнализирует о наличии ошибок в устройствах любых описанных выше классов
2	Уровень предупреждений	Показывает наличие неполадок, неустранение которых приведет систему на уровень ошибок
3	Уровень оповещений	Предупреждает о достижении некоторым параметром установленного предела
4	Информационный уровень	Показывает значение некоторого параметра с установленной периодичностью

Подсистема хранения данных, которая предназначена для оперативного и долговременного хранения в структурах, нацеленных на принятие решений и формирование отчетности, должна обеспечивать выполнение следующих функций:

- хранение в течение заданного периода актуальных данных;
- помещение в архив данных, потерявших свою актуальность.

С точки зрения эффективности работы системы следует разбить хранилище на два непересекающихся подмножества:

- основное или оперативное хранилище - для показаний, используемых часто в текущих расчетах;
- архивное хранилище или история - для показаний, используемых крайне редко.

Принимаемые данные от источника после проверки изначально попадают в оперативное хранилище. Спустя период времени, после которого они теряют свою актуальность для процесса управления, данные автоматически переносятся в архивное хранилище. При переносе в архивное хранилище производится процесс прореживания, в результате которого можно сократить информа-

ционный объем без существенной потери в качестве. Процесс переноса данных в архивное хранилище инициируется системой самостоятельно на основе факта утери актуальности данных.

Подсистема взаимодействия с пользователем обеспечивает выполнение следующих функций:

- осуществление первичной и оперативной настройки;
- определение и изменение расписания процессов сбора данных;
- сигнализация аварийных ситуаций и мониторинг текущего состояния тепловой карты;
- извещение пользователей о нештатных ситуациях в процессе работы системы.

Для программного обеспечения системы предъявляется перечень следующих независимых программных средств, а также требования:

- использование открытой реляционной системы управления базами данных PostgreSQL 9.2.0;
- использование открытой операционной среды Debian GNU/Linux 6.0 («Squeeze»);
- открытая платформа разработки Java SE 1.7.

Java - это одновременно язык программирования и платформа, представляет собой высокоуровневый объектно-ориентированный язык программирования. При компиляции, которая выполняется один раз во время сборки приложения, код на Java преобразуется в код на промежуточном языке (байт-код). В свою очередь, байт-код анализируется и выполняется (интерпретируется) виртуальной машиной Java (JVM). Все реализации Java, включая 1.7, должны эмулировать JVM, чтобы создаваемые приложения могли выполняться на любой системе, включающей виртуальную машину Java.

Java - это программная платформа, версии которой поставляются для различных аппаратных систем. Платформа включает в себя JVM и интерфейс прикладного программирования на Java (API), представляющий собой обширный набор готовых программных компонентов (классов), облегчающих разработку и развертывание апплетов и приложений. API Java охватывает многие аспекты разработки на Java, в том числе манипулирование базовыми объектами, сетевое программирование, обеспечение безопасности, генерацию XML и Web-сервисы. API организован в виде набора библиотек, именуемых пакетами, которые содержат классы и интерфейсы для решения связанных друг с другом задач.

В дополнение к API каждая полноценная реализация платформы Java должна включать следующее:

- инструментарий разработчика для компиляции, запуска, мониторинга, отладки и документирования приложений;
- стандартные механизмы развертывания приложений в пользовательской среде;
- инструментарии, позволяющие создавать сложные графические интерфейсы пользователей;
- интеграционные библиотеки для программного доступа к базам данных и удаленного манипулирования объектами.

Ниже приводятся требования к составу, структуре и способам организации данных в системе.

Исходя из высокого информационного потока между компонентами интеллектуальной системы, выдвигается требование централизованности хранения данных, это означает, что оперативные и долговременные данные должны располагаться в центральном хранилище. Система должна иметь трехуровневую архитектуру (рисунок 2), обусловленную различными техническими средствами связи между функциональными блоками и протоколами обмена

данных. Первый уровень (функциональный блок) - источник оперативной термографической информации, второй - хранилище оперативных и долговременных данных, третий - блок принятия решения, визуализации и генерирования статической отчетности.



Рисунок 2 - Архитектура системы

Процесс работы системы, как было указано выше, может протекать в одном из режимов функционирования. Наиболее интересен основной режим, в нем система производит получение и обработку данных, а также работу с пользовательским интерфейсом и генерирование отчетов и оповещений. Работа с пользовательским интерфейсом производится с использованием библиотеки ApacheClick.

В работе показаны требования к архитектуре программного обеспечения универсальной системы тепловизионной диагностики.

Статья подготовлена по результатам работ, выполненных на оборудовании ЦКП «КУ-ЭП» ФГБОУ ВПО «ВГУИТ».

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Буча, В.В. Алгоритмы интерактивного выделения объектов на цифровых изображениях местности [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук.
- 2 Поляков, А.Ю. Методы и алгоритмы компьютерной графики на Visual C++ [Текст] / А.Ю. Поляков, А.В. Бруснищев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 503 с.

REFERENCES

- 1 Bucha, V.V. Algorithms interactive selection of objects in digital images areas [Text]: abstr. diss. ... PhD.
- 2 Polyakov, A.Y. Methods and algorithms of computer graphics of Visual C++ [Text] / A.Y. Polyakov, A.V. Brusnitcev. – SPb.: BHV-Peterburg, 2003. – 503 p.

Профессор С.Т. Антипов, доцент А.Н. Рязанов

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра машин а и аппаратов пищевых производств,
тел. (473) 255-38-96

доцент А.Л. Ивашин

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра информационных технологий моделирования и управления тел. (473) 255-25-50

аспирант Д.Ю. Уразов

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра промышленной энергетики, тел. (473) 255-44-66

Проектирование физической и логической моделей универсальной системы тепловизионной диагностики

Разработка физической и логической моделей универсальной системы тепловизионной диагностики. Описание сущностей и конкретных требований, предъявляемых к системе управления базами данных со стороны программного комплекса.

Development of physical and logical models of the universal system of thermal imaging. Description of the entities and specific requirements to the database management system by the software complex.

Ключевые слова: тепловизионная диагностика, база данных, архитектура программной системы.

Назначением разрабатываемой системы тепловизионной диагностики является осуществление процесса для удаленного сбора данных о температурном режиме энергетического оборудования пищевых предприятий, сохранения полученной статистической информации и оповещения пользователей в случаях выхода температуры объекта за рамки допустимых значений.

Целью системы является обеспечение выполнения функций работы с тепловизионным устройством и сохранения статистической информации в автоматическом режиме.

Среди всего спектра задач, решаемых системами управления современными базами данных, применительно к рассматриваемому процессу тепловизионной диагностики необходимо отметить следующие:

- обеспечение хранения в базе данных всей необходимой информации в наиболее компактном виде;
- обеспечение возможности получения данных по всем необходимым запросам;
- сокращение избыточности, дублирования и обеспечение целостности данных.

В процессе проектирования моделей хранения данных производится построение информационной модели наиболее высокого уровня абстракции. Данная модель не ориентирована на

конкретную систему управления базами данных. Конкретный вид и содержание модели базы данных определяется выбранным для этого формальным аппаратом. В данной работе будет использована табличная нотация, которая включает в себя:

- описание информационных объектов или понятий предметной области и связей между ними;
- описание ограничений целостности, требований к допустимым значениям данных и к связям между ними.

В качестве основной схемы используется реляционная модель данных – набор схем отношений, обычно с указанием первичных ключей и связей между отношениями, представляющих собой внешние ключи. На этапе логического проектирования учитывается специфика конкретной модели данных, но может не учитываться специфика конкретной системы управления.

Физическое проектирование – создание схемы базы данных для конкретной системы управления базами данных. Специфика конкретной системы может включать в себя ограничения на именованное объектов базы данных, ограничения на поддерживаемые типы данных и другие ограничения.

Ниже представлены основные сущности, используемые для долговременного хранения информации.

Сущность системных пользователей используется для обеспечения безопасности и осуществления процесса разграничения прав. Заполнение таблицы производится на этапе начального запуска системы и в дальнейшем при функционировании. Добавление новых сущностей не должно приводить к непредвиденному поведению. Изменение существующих сущностей не допускается. Процесс удаление заменяется затенением, для этого деактивируется поле видимости.

Каждый пользователь принадлежит к некоторой группе (таблица 1), которая показы-

вает ряд допустимых для него действий и вводит ограничения. Хеш-код пароля используется для хранения md5-суммы введенного пароля. Не допускается пустое поле. Поле видимости указывает, является ли данный пользователь действующим, если флаг деактивирован, то экземпляр не используется системой, однако могут существовать другие сущности, которые ссылаются на данного пользователя. Для предотвращения каскадного удаления сущностей, среди которых могут быть актуальные, используется затенение.

Т а б л и ц а 1

Сущность пользователей

Поле	Тип	Комментарий
id	long PRIMARY KEY	Уникальный идентификатор системного пользователя
system_users_group_id	long REFERENCES system_users_group NOTNULL	Ссылка на сущность группы пользователей, к которой принадлежит пользователь
login	text NOT EMPTY	Имя пользователя для входа в систему
hashpass	text NOT EMPTY	Хеш-сумма пароля (md5-сумма)
email	text NOT EMPTY	Электронный адрес пользователя для осуществления алгоритма оповещения
visibility	boolean DAFAULT TRUE	Флаг видимости
description	text	Описание

Подсистема хранения данных, которая предназначена для оперативного и долговременного хранения в структурах, нацеленных на принятие решений и формирование отчетности, должна обеспечивать выполнение следующих функций: хранение в течение заданного периода актуальных данных и помещение в архив данных, потерявших свою актуальность.

С точки зрения эффективности работы системы следует разбиение хранилища на два непересекающихся подмножества: основное или оперативное хранилище – для показаний, используемых часто в текущих расчетах; архивное хранилище или история – для показаний, используемых крайне редко.

Сущность показаний источника данных (таблица 2) позволяет задать карту соответствия

времени снятия показаний и самих термографических изображений. Для данной цели используется кортеж полей даты и времени получения данных и ссылки на полученные показания.

Принимаемые данные от источника после проверки изначально попадают в оперативное хранилище. Спустя период времени, после которого они теряют свою актуальность для процесса управления, данные автоматически переносятся в архивное хранилище. При переносе в архивное хранилище производится процесс прореживания, в результате которого можно сократить информационный объем без существенной потери в качестве. Процесс переноса данных в архивное хранилище инициируется системой самостоятельно на основе факта утери актуальности данных.

Т а б л и ц а 2

Сущность источника данных

Поле	Тип	Комментарий
id	long PRIMARY KEY	Уникальный идентификатор показаний источника данных
value_date	date	Дата и время получения показаний
binary_data_id	long REFERENCES binary_data NOTNULL	Ссылка на термограмму
visibility	boolean DAFAULT TRUE	Флаг видимости/архивности

Регионы слежения – статические прямоугольные области термографического изображения, которые подвергаются анализу (табли-

ца 3). Регион однозначно задается указанием прямоугольной области, системного пользователя и границ выхода за критическую область.

Т а б л и ц а 3

Сущность регионов

Поле	Тип	Комментарий
id	long PRIMARY KEY	Уникальный идентификатор региона слежения
system_user_id	long REFERENCES system_user NOTNULL	Ссылка на сущность пользователя добавившего или изменившего регион слежения
polygon_coord	box	Координаты прямоугольного региона слежения
normal_value	range	Границы показателе данного региона
description	text	Описание региона слежения

Сущность системных настроек (таблица 4) описывает глобальные настройки системы, необходимые для обеспечения основного режима работы. Экземпляров данной сущности может быть несколько, действующим является тот, у которого установлен соответствующий флаг, одновременно только у одного из экземпляров настроек может быть установлен данный флаг.

С точки зрения информационного обмена между компонентами рассматриваемой системы предъявляются следующие требования. В качестве протокола взаимодействия между блоками хранения информации и принятия решения на

транспортно-сетевом уровне необходимо использовать протокол TCP/IP. Ввиду особенностей технической реализации источника данных работа с ним должна осуществляться по протоколу UDP. Для организации информационного обмена между компонентами и доступа пользователей к отчетности должны использоваться протоколы прикладного уровня HTTP и HTTPS. Исходя из требований, предъявляемых к связям между компонентами, требований надежности и условий лицензирования, необходимо выбрать физическую реализацию системы управления базой данных.

Т а б л и ц а 4

Сущность системных настроек

Поле	Тип	Комментарий
id	long PRIMARY KEY	Уникальный идентификатор версии системных настроек
is_current	boolean DAFAULT FALSE	Флаг, показывающий актуальность данного набора настроек
sensor_address	inet	Адрес источника данных
database_address	inet	Адрес сервера базы данных
frame_frequency	numeric	Частота анализа данных
valid_time	date	Время хранения бинарных данных
visibility	boolean DAFAULT TRUE	Флаг видимости

Системой, удовлетворяющей всем требованиям является PostgreSQL – свободная объектно-реляционная система управления базами данных, которая существует в реализациях для множества UNIX-подобных платформ, включая используемую Debian GNU/Linux. Используемыми особенностями в данном проекте являются:

- поддержка базы данных размера, ограниченного физическим размером хранилища;
- надежные механизмы транзакций и репликации;
- поддержка возможностей наследования и процессов сравнительно простой расширяемости.

В данной работе были разработаны физическая и логическая модели, которые ис-

пользуются при разработке системы тепловизионной диагностики.

Статья подготовлена по результатам работ, выполненных на оборудовании ЦКП «КУ-ЭП» ФГБОУ ВПО «ВГУИТ».

ЛИТЕРАТУРА

1 Энсор, Д. Проектирование баз данных [Текст] / Д. Энсор, Й. Стивенсон. – СПб.: БХВ-Петербург, 1999. – 503 с.

REFERENCES

1 Ensor, D. Database design [Text] / D. Ensor, Y. Stevenson. – SPb.: БХВ-Петербург, 2003. – 503 p.

УДК 664

Профессор Л.В. Антипова, доцент А.Н. Рязанов,
доцент С.А. Сторублевцев, Ф.С. Базрова
(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра технологии продуктов животного
происхождения тел. (473)255-37-51

Исследование процесса сорбции йода на коллагеновом носителе в получении функционального ингредиента для пищевых систем

Изучен процесс сорбции йода на коллагеновом носителе. Определена продолжительность связывания и оптимальное количество йодида калия, сорбционная емкость препарата PROMIL C95 в отношении йонов йода.

Process of sorption of iodine on the collagenic carrier is studied. Duration of binding and optimum amount of iodide of potassium, sorption capacity of the preparation PROMIL C95 respect of I⁻ is determined.

Ключевые слова: сорбция, йод, коллагеновый носитель, функциональный ингредиент.

Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации (Указ Президента Российской Федерации от 30 января 2010 года № 120), определяющая в качестве стратегической цели формирование в Российской Федерации основ и индустрии здорового питания, обозначает в числе приоритетных задач увеличение производства новых обогащенных, диетических и функциональных пищевых продуктов.

Многолетний практический опыт свидетельствует, что потребление продуктов и напитков, содержащих полезные для здоровья вещества, действительно может стать эффективным средством укрепления защитных функций организма человека при условии, что новый функциональный продукт (напиток) включает обоснованный выбор ингредиентов, формирующих его состав и свойства [1,2].

Одной из проблем в питании современного человека является йодная недостаточность. Практически на всей территории центральной части Российской Федерации потребление йода с пищей и водой снижено. Реальное потребление йода составляет всего 40 - 80 мкг в день, т.е. в 2 - 3 раза ниже рекомендованного уровня.

В настоящее время профилактические меры коррекции йодного дефицита основаны на приеме терапевтических медикаментов, которые требуют соблюдения строгих рекомендаций, а также включают противопоказания из-за наличия побочных эффектов и т.д. В то время как основной упор в противодействии йодной недостаточности может и должен быть сделан на профилактику, основанную на употреблении пищевых продуктов, обогащенных данным микроэлементом.

Все известные методы йодирования и получения органической формы йода подразумевают собой образование ковалентной химической связи йода с аминокислотой тирозином. Данная связь образуется в щитовидной железе под действием фермента йодпероксидазы или может быть получена чисто химическим синтезом в опытах *in vitro*. Кроме того, известно, что для органификации йода в щитовидной железе он должен быть в виде йодида I⁻. Следовательно, необходим дополнительный этап перехода I⁺ → I⁻.

Учитывая свойства данного элемента, его высокую химическую активность, то, что он как галоген проявляет свойства катиона или аниона в зависимости от соединения, можно предположить, что йод может взаимодействовать с функциональными группами аминокислот и не обязательно с образо-

ванием ковалентной связи. Следовательно, при определенных условиях, в присутствии ионизированных положительно заряженных групп, например, аминогруппы NH_3^+ , йод может вести себя как анион.

В общем случае первой стадией разработки нового функционального продукта (напитка) является выбор его основы (матрикса), от которой в значительной степени зависит обоснование выбора функциональных ингредиентов, а также других пищевых составляющих и добавок, обеспечивающих потребительские свойства продукта.

В качестве органических носителей йода целесообразно рассматривать пищевые белки. Альтернативным вариантом таких пищевых белков могут являться коллагены.

Нами были проведены исследования по оценке сорбционных свойств коммерческого препарата животного белка PROMIL C95 в отношении йода с целью получения функционального ингредиента, обеспечивающего поступление микроэлемента в органической форме. Пищевой белок PROMIL C95 является высокомолекулярным препаратом натурального белка – коллагена (содержание белка до 95 %). Его можно отнести к природным высокомолекулярным соединениям с высокой сорбционной способностью.

Для йодирования животного пищевого белка PROMIL C95 использовали йодид калия химически чистый. При выборе соединения йода учитывали его безопасность и заряд. Безопасность йодида калия не требует дополнительного подтверждения, он включен в Энциклопедию лекарственных средств и используется для йодирования пищевых продуктов.

Калий йодид имеет ионную кристаллическую решетку, следовательно, при растворении в воде происходит процесс сольватации – ионы отделяются друг от друга и поступают в раствор. В результате калий и йод существуют в растворе в виде ионов K^+ и I^- .

Одним из основных параметров проведения реакции связывания йода с белковым носителем является показатель pH среды. Выбор условий реакции pH среды связан со свойствами микроэлемента. Так, в кислой среде йод восстанавливается до молекулярного состояния и улетучивается, в щелочной среде ($\text{pH} > 8,0$) образуется гипойодид. Белок PROMIL C95 в 1 % растворе имеет $\text{pH} = 6,5$. Учитывая данные факторы, в растворе устанавливали $\text{pH} 7,0 - 7,2$.

Для выяснения взаимодействия аниона – йодида с белком PROMIL C95 проведен ряд экспериментов.

Белок PROMIL C95 обрабатывали водным раствором йодида калия различной концентрации. По истечению 24 часов определяли содержание микроэлемента. Расчет вводимого количества йодида калия производили по содержанию йода (76,5 % в KI). Раствор калий йодида готовили растворением в дистиллированной воде с таким расчетом, чтобы на 1 г белка приходилось 50, 100, 150, 200, 250 мкг йода. Процесс йодирования проводили при $t = 0 - 4^\circ\text{C}$ в течение 24 ч. Количество связанного йода определяли роданидно-нитритным методом. Сущность роданидно-нитритного метода заключается в определении скорости реакции окисления роданида железа в зависимости от концентрации ионов йода, которые являются катализаторами реакции окисления. Данные по содержанию микроколичеств йода в исследуемых образцах представлены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Связывание йода пищевым белком PROMIL C95

Номер образца	Количество вносимого йода на 1 г белка, мкг	Связанный йод, на 1 г белка	
		мкг	% к внесенному йоду
1	50	$50,0 \pm 0,3$	100,0
2	100	$79,7 \pm 0,7$	80,0
3	150	$79,0 \pm 0,6$	53,3
4	200	$79,0 \pm 1,0$	40,0
5	250	$79,3 \pm 0,9$	32,0

При внесении 50 мкг йода данный белок связывал практически 100 % элемента (рисунок 1).

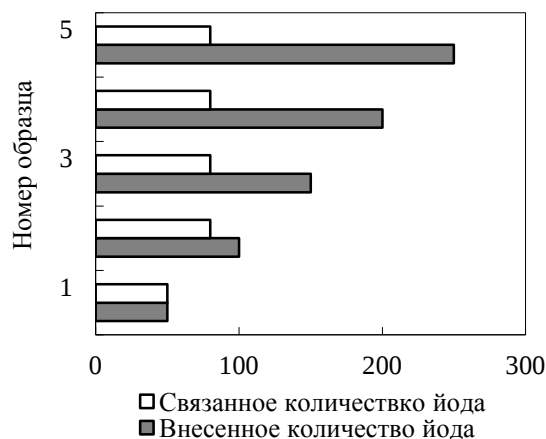


Рисунок 1 - Степень связывания йода пищевым белком

При концентрации 100 мкг йода процент связывания элемента составил около 80 %, при внесении 150 мкг процент связывания составил 53,3 %, а при 200 мкг – 40,0 %, что при пересчете на микроэлемент соответствует 80 мкг йода.

Дальнейшее увеличение концентрации йода до 300 мкг не приводит к повышению степени связывания элемента, значение его содержания оставалось на уровне 80 мкг на г йодированного сухого белка (рисунок 2).

Вероятно, для белка PROMIL C95 пределом связывания йода является $80 \pm 0,4$ мкг.

Поскольку йодид калия в растворе находится в виде ионов, то он собой представляет электролит и, следовательно, его раствор способен проводить электрический ток. Белки также в растворах диссоциируют с образованием биполярных ионов (цвиттер-ионов), что в свою очередь предполагает, что растворы белков также проводят электрический ток. Для определения удельной электропроводимости готовили растворы: йодида калия (концентрация 1 мкг/см³), 1 % раствор белка, раствор йодида калия и белка (в 100 см³ раствора содержалось 100 мкг йодида калия и 1 г белка). Определение удельной электропроводимости раствора йодида калия и белка проводили во времени с интервалом 1 ч. Динамика изменения удельной проводимости раствора йодида калия и белка во времени показана на рисунке 2. Удельную электропроводимость определяли на кондуктометре H9033 Multi-rang Conductivity meter фирмы Hanna Instruments (Чехия) в соответствии с инструкцией к прибору.

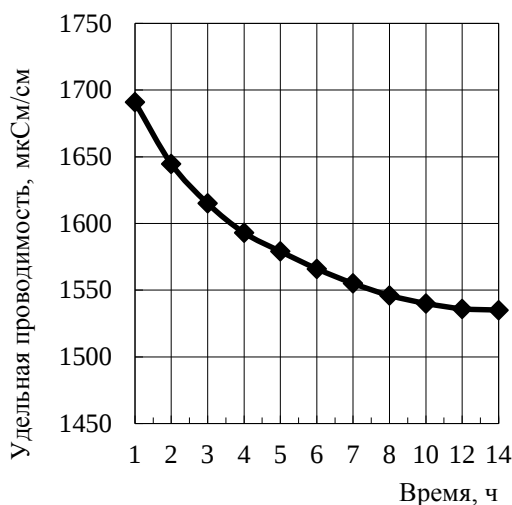


Рисунок 2 - Зависимость удельной проводимости раствора белка Promil C95 и йодида калия во времени

Удельная электропроводимость раствора йодида калия составляет 723 ± 2 мкСм/см, удельная электропроводимость 1 % раствора белка PROMIL C95 равна $1041 \pm 3,5$ мкСм/см.

Данные, полученные в ходе эксперимента, показывают, что удельная электропроводимость раствора йодида калия и белка PROMIL C95 с течением времени падает, т. е. возрастает удельная сопротивляемость раствора. Это, возможно, происходит вследствие связывания йода белком и частичной сорбции йода молекулами белка. Удельная электропроводимость раствора йодида калия и белка достигает минимума к 12 ч., в дальнейшем происходит лишь незначительное изменение удельной электропроводимости раствора в пределах погрешности измерения.

Для определения необходимой продолжительности связывания йода белком производили обработку пищевого животного белка PROMIL C95 водным раствором йодида калия в течении 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24 ч при температуре 2-4 °С. Данная температура выбрана во избежание микробиальной порчи и снижения обсемененности белкового препарата. Концентрация йодида калия в растворе при соотношении белок-раствор 1:10, составила 10 мкг/см³. Для определения связанного йода каждый час отбирали образцы и определяли в них содержание микроколичеств йода роданидно - нитритным методом. По методике проба высушивается в течении 40 мин при 150 °С. При этом происходит практически полное удаление свободного йода из пробы.

Процент связывания йода определяли в динамике (рисунок 3).

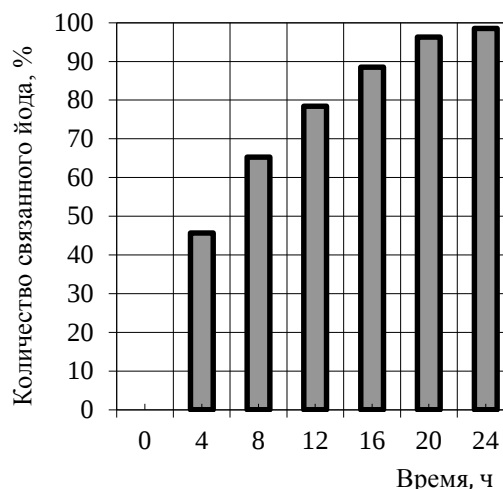


Рисунок 3 - Динамика связывания йода от времени обработки белка PROMIL C95 раствором йодида калия

Полученные результаты свидетельствуют о том, что связывание йода идет не сразу, а постепенно и достигает максимума через 20 часов. При этом оптимальным количеством внесения йода является 80 мкг на 1 г белка, что в пересчете на йодид калия составляет 105 мкг соли.

Полученные данные позволили определить продолжительность связывания и оптимальное количество йодида калия, а также сорбционную емкость препарата PROMIL C95 в отношении ионов йода. Полученные результаты легли в основу лабораторного регламента получения йодированного функционального ингредиента – обогатителя пищевых систем.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 — 2013 годы» по государственному контракту № 14.512.11.0039 от 20.03.2013 г.

ЛИТЕРАТУРА

1 Теплов, В.И. Функциональные продукты питания [Текст]: учебное пособие / В.И. Теплов. — М.: А-Приор, 2008. - 240 с.

2 Евдокимова, О.В. Концепция формирования инновационной деятельности при производстве функциональных продуктов питания [Текст] / О.В. Евдокимова, Е.В. Лаврушина // Пищевая промышленность. – 2009. - №3.

3 ГОСТ Р 54059-2010 Продукты пищевые функциональные. Ингредиенты пищевые функциональные. Классификация и общие требования [Текст]. – Введ. 30.11.2010. – М.: Стандартиформ, 2011. – 12 с.

REFERENCES

1 Teplov, V.I. Functional foods [Text]: textbook / V.I. Teplov. - M.: A-Prior, 2008. – 240 p.

2 Evdokimova, O.V. The concept of formation of innovation in the production of functional foods [Text] / O.V. Evdokimova, E.V. Lavrushina // Food Industry. - 2009. - № 3.

3 State standard 54059-2010 Food-functional. Functional food ingredients. Classification and general requirements [Text]. - Enacted 30.11.2010. – M.: Standartinform, 2011. – 12 p.

Профессор Г.О. Магомедов, аспирант В.В. Богданов,
доцент Т.А. Шевякова, доцент А.А. Журавлев

(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского,
макаронного и зерноперерабатывающего производств, тел. (473) 255-38-51

Разработка смесительно-сбивально- формующей установки для мучных кондитерских изделий

Разработана смесительно-сбивально-формующая установка для мучных кондитерских изделий, установлены критерии – удельная мощность процесса, удельный объем готовых изделий и объемная масса теста при реализации новых технологических приемов, которые позволяют создавать высокоэффективные технологии и конкурентоспособную продукцию.

Mixing-whipping-forming facility for flour confectionery was developed. The criteria – the specific capacity of process, specific volume of finished products and volume mass of dough are established for realization new processing methods which allow to create highly effective technologies and competitive production.

Ключевые слова: замес теста, сбивание, формование, сбивные бисквитные изделия

В настоящее время одной из стратегических задач кондитерской промышленности является разработка прогрессивных технологий и оборудования для производства конкурентоспособных изделий повышенной пищевой и биологической ценности, пониженной сахароемкости и себестоимости.

Поэтому актуальным является создание инновационной технологии кондитерских изделий и адаптированной, универсальной установки с автоматической системой контроля и управления технологическими процессами.

Создана универсальная установка для проведения последовательно процессов перемешивания и сбивания теста в одном аппарате с последующим формованием [1].

На первой стадии целью замеса теста является получение однородной гомогенной упруго-пластичной структуры, реологические свойства которой во многом определяются образовавшимся устойчивым клейковинным каркасом.

На первом этапе одновременно с происходящими в тесте процессами набухания и растворения белков и образования клейковинного каркаса, решается задача разрушения этого каркаса с образованием вязко-пластичной однородной массы теста, пригодной для проведения последующего процесса ее формования. Второй этап приготовления сбивного теста отличается, прежде всего, применением гораздо более интенсивных режимов

воздействия на тесто непосредственно в процессе формирования его структуры, поэтому он наиболее энергоемкий и сопровождается значительным тепловыделением в объеме теста, требующим эффективного теплоотвода из зоны перемешивания. На этом этапе производится сбивание полученной гомогенной массы под повышенным давлением сжатого воздуха, где происходит механическое разрыхление теста, насыщение его воздухом, а также частичное растворение воздуха в тесте при давлении 0,4 - 0,6 МПа сжатого воздуха.

На последнем этапе осуществляется процесс формования гомогенной пенообразной массы при достаточно низком механическом воздействии на структуру теста.

Основными технологическими стадиями получения сбивных кондитерских изделий являются замес, сбивание и формование сбивных тестовых заготовок и их выпечка. Для приготовления сбивного кондитерского теста применяли следующее сырье: мука ржаная обдирная и пшеничная второго сорта, сахар-песок, жир «Эконфе -1203-34» и вода. Сначала готовили однородную смесь муки ржаной и пшеничной в соотношении массовых частей 50:50; эмульсию из сахара-песка, воды и жира путем предварительного растворения сахара-песка в воде с последующим внесением жира пластифицированного и интенсивного перемешивания $n = 13,4 \text{ с}^{-1}$. Затем последовательно дозировали в рабочую камеру сбивальной установки эмульсию и смесь муки

ржаной и пшеничной и герметично закрывали рабочую камеру. При этом коэффициент заполнения камеры установили $K = 0,7$ и массовую долю влаги теста $W_t = 44\%$. Через каждые 30 с процесса измеряли удельную мощность $N_{уд}$, и объемную массу – ρ (рисунок 1).

Основные технологические параметры процессов приготовления сбивного теста предварительно установили: замес осуществлялся при интенсивном перемешивании рецептурных компонентов $n_3 = 13,4 \text{ с}^{-1}$ в течение $\tau_3 = 300 \text{ с}$; сбивание теста при давлении сжатого воздуха $P_{сб} = 0,4 \text{ МПа}$, $n_{сб} = 13,4 \text{ с}^{-1}$, $\tau_{сб} = 240 \text{ с}$ и формование $n_{ф} = 1 \text{ с}^{-1}$, $\tau_{ф} = 120 \text{ с}$.

Установили, что при интенсивном смешивании рецептурных компонентов (рисунок 1) значение удельной мощности $N_{уд}^3$ возросло в течение 230 с до $0,48 \text{ Вт/кг}$, затем уменьшалось до $0,17 \text{ Вт/кг}$ и стабилизировалось (рисунок 1, кривая 1). При этом повышается объемная масса теста до $1,26 \text{ г/см}^3$ (рисунок 1, кривая 2) и температура – до 39°C . Для поддержания постоянной температуры теста $27 - 28^\circ\text{C}$ при замесе и сбивании подключали охлаждающую водяную рубашку.

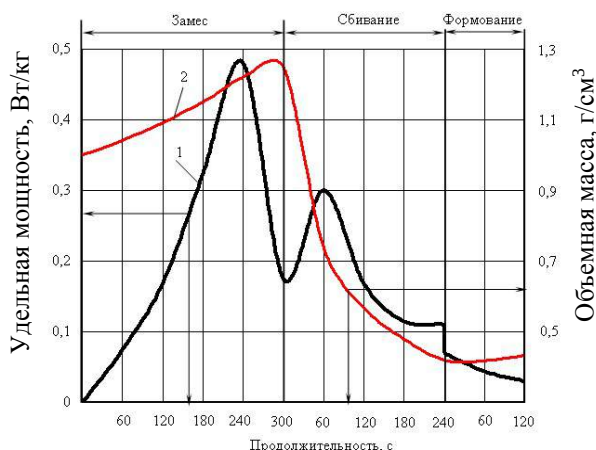


Рисунок 1 - Изменение удельной мощности (1) и объемной массы (2) в процессе приготовления и формования теста

Повышение температуры при замесе теста обусловлено главным образом выделением теплоты гидратации и переходом энергии механического разрушения формирующегося при этом клейковинного каркаса в тепловую. При замесе теста протекают последовательно процессы смачивания частиц муки эмульсией и гидратация, набухание частиц муки и переход растворимых веществ в раствор, формирование клейковинного каркаса при максимальной удельной мощности $N_{уд}^3$ (рисунок 1, кривая 1, наивысшая точка), разрушение клейковинного каркаса и формирование пластично-вязкой

структуры в конце процесса при минимальной величине $N_{уд}^3$, что характеризуется формированием однородной коагуляционной структуры.

Известно, что продолжительность замеса бисквитного кондитерского теста с образованием двухфазной структуры (Т-Ж) резко снижается с увеличением интенсивности смешивания рецептурных компонентов за счет ускорения адсорбции жидкой фазы твердой поверхностью частиц муки, увеличения взаимной подвижности фаз и разрушения агрегатов частиц, переходом в раствор водорастворимой фракции муки.

Дефекты неоднородности распределения рецептурных компонентов, зафиксированные на начальной стадии процесса замеса, передаются по «наследству» в следующую стадию, в которой достижение однородности массы еще более затруднено возникновением плотных и прочных агрегатов. Поэтому для достижения максимальной однородности и разрушения агрегатов в начальной стадии процесса замеса при минимальном расходе удельной мощности и продолжительности процесса необходимо интенсивное перемешивание. Это происходит в результате ликвидации капиллярных сил и увеличения скорости смачивания частиц жидкой фазой в начальный период замеса. Получение однородной структуры многокомпонентных высококонцентрированных кондитерских дисперсных систем происходит в результате последовательного перехода двухфазных (Т-Г) через трехфазные системы (Т-Ж-Г) при введении жидкой фазы (Ж) и, наконец, при удалении газовой фазы в двухфазные (Т-Ж) системы.

Следовательно, можно представить процесс замеса кондитерских дисперсных систем в виде:



Особенность этого перехода состоит в непрерывном и резком увеличении в ходе процесса плотности, прочности структуры и силы сцепления в контактах между частицами твердой фазы. Поэтому важное условие получения однородной структуры кондитерского теста с высоким содержанием твердой фазы в маловязкой жидкой фазе – одновременность достижения предельного разрушения структуры во всем объеме системы, начиная с момента возникновения контактов между дисперсными фазами. Именно на этой стадии оказывается возможным наиболее эффективное управление структурой при минимальной энергии, расходуемой при замесе бисквитной кондитерской массы.

На начальном этапе сбивания в течение 60 с под избыточным давлением происходит насыщение системы воздухом $\text{TЖ}+\text{Г} \rightarrow \text{TЖГ}$, агрегирование набухших макромолекул клейковинных белков, их отталкивание, а также дальнейшие процессы растворения водорастворимых белков, пентозанов, дезагрегации крахмала. Вследствие этого увеличивается доля веществ, активно участвующих в процессе образования пены. Интенсивное сбивание способствует «сшиванию» макромолекул белка поперечными дисульфидными, водородными и другими связями, при этом прочность клейковинных белков возрастает и соответствует максимальной в течение 60 с $N_{\text{уд}}^{\text{сб}} = 0,3 \text{ Вт/кг}$ (рисунок 1, кривая 1). В результате совместного диспергирования раствора альбуминовой, глобулиновой фракций и воздуха образуется пенообразная масса теста. При этом пленки гидратированного белка охватывают всю поверхность крахмальных зерен и других включений.

По мере насыщения воздухом, пузырьки теряют свободу перемещения, превращаясь в полиэдрические ячейки, разделенными тонкими несколько изогнутыми пленками жидкости, т.е. дисперсная фаза преобладает над дисперсионной средой. При этом пена подобна желатинизированной эмульсии, а ее устойчивость определяется механической прочностью остова, образованного из пленок дисперсионной среды. На этом участке процесса сбивания значение удельной мощности резко снижалось до $0,12 \text{ Вт/кг}$ и оставалось на этом уровне, так как за счет длительного интенсивного механического воздействия завершалось разрушение клейковинного каркаса и соответственно формирование мелкопористой пенообразной структуры теста.

Следовательно, насыщение воздухом бисквитной массы под давлением сжатого воздуха $0,4 \text{ МПа}$ и совместное влияние многочисленных физико-химических, механических, коллоидных и других процессов в кондитерском тесте способствует снижению объемной массы до $\rho_{\text{сб}} = 0,4 \text{ г/см}^3$ (рисунок 1, кривая 2) и образованию густой, пышной пены с мелкой, тонкостенной и равномерной структурой. Затем плавно переключали сбивальную установку на режим формование путем снижения интенсивности вращения мешалок до $n_{\text{ф}} = 1 \text{ с}^{-1}$ и реверса привода.

На стадии формования важно сохранить мелкопористую структуру сбивного бисквитного теста без разрушения, поэтому снижали интенсивность перемешивания $N_{\text{уд}}^{\text{ф}}$, при сохранении постоянной вязкости и объемной

массы теста $\rho_{\text{ф}}$ (рисунок 1, кривая 2). При формовании резко снижается удельная мощность $N_{\text{уд}}^{\text{ф}} = 0,06 \text{ Вт/кг}$ и достигает величины $N_{\text{уд}}^{\text{х}}$ холостого хода при полной выгрузке сбивного теста в течение $\tau_{\text{ф}} = 60 \text{ с}$, а объемная масса теста несколько увеличивается от $\rho_{\text{ф}} = 0,4 \text{ г/см}^3$ до $\rho_{\text{ф}} = 0,45 \text{ г/см}^3$ за счет частичного разрушения структуры теста в конце процесса. Это объясняется тем, что в конце процесса формования частично восстанавливается вязкость теста и срабатывает давление сжатого воздуха в рабочей камере сбивальной установки.

Таким образом, исследование основных процессов структурообразования сбивного бисквитного кондитерского теста показало, что возможно совмещение и последовательное осуществление процессов замеса, сбивания и формования сбивных бисквитных тестовых заготовок в одном аппарате с сохранением основного технологического критерия – объемной массы отформованных тестовых заготовок на уровне $\rho_{\text{ф}} = 0,40\text{--}0,45 \text{ г/см}^3$.

Следующим этапом работы является разработка параметрической схемы технологических процессов получения сбивных бисквитных кондитерских изделий. Важной стадией, предшествующей применению формальных методов и процедур моделирования, является стадия определения параметрических схем. При разработке параметрических схем осуществляется определение и распределение для каждой технологической операции переменных состояния, а также переменных управления и координация данной технологической операции в рамках общей технологической цепочки производства сбивных бисквитных изделий.

Факторы и параметры, обозначаемые в параметрических схемах и характеризующие протекание технологических процессов в соответствии с общепринятой методикой делятся на возмущающие, наблюдаемые (измеряемые, рассчитываемые), управляющие и управляемые.

Перед разработкой параметрических схем технологических операций было дано определение всему процессу получения сбивных бисквитных кондитерских изделий на основе смеси муки ржаной и пшеничной и эмульсии.

Получение сбивных бисквитных кондитерских изделий – формирование сбивного бисквитного теста как системы с оптимальными реологическими и физико-химическими свойствами с выбором оптимальной интенсивности деформационного воздействия на сбив-

ное бисквитное тесто, начиная с замеса и заканчивая выпечкой сбивных тестовых заготовок.

Интенсивность деформационного воздействия определяется интенсивностью механического воздействия (частота вращения мешалок смесительно-сбивальной установки) и теплового воздействия (температура и продолжительность процесса в смесительно-сбивальной установке, охлаждающей водяной рубашке, в печи).

Деформационное воздействие на сбивное тесто при механической обработке (замес, сбивание и формование) определяется чередованием деформации растяжения, сдвига, адгезией и аутогезией, а при тепловой обработке (переход механической энергии замеса и сбивания в тепловую, охлаждение сбивного теста через водяную охлаждающую рубашку, выпечка) – определяется интенсивностью изменения температуры, вязкости, прочности, объемной массы теста.

Образование сбивного теста на стадии замеса и сбивания, в первую очередь, сводится к формированию вектора численных параметров, однозначно описывающих его реологические свойства. Определение этих параметров является метрологической базой для построения кинематической модели процесса замеса и сбивания бисквитного теста.

Интегральным операторным параметром реологических свойств при приготовлении сбивного теста является удельная мощность и работа замеса, сбивания и формования, а также объемная масса сбивного теста.

На основании проведенного анализа основных стадий приготовления сбивных бисквитных кондитерских изделий были определены наиболее важные информативные характеристики для каждой стадии (рисунок 2).

На основании анализа параметрической схемы можно сделать вывод о том, что основными интегральными технологическими критериями должны быть показатели, характеризующие затраты механической и тепловой энергии на формирование структуры сбивного теста и готовых изделий, а также объемная масса сбивного теста и удельный объем выпеченных изделий. Эти показатели объединяют все технологические операции, позволяют обработать математическую модель всего процесса приготовления сбивных бисквитных изделий, установить оптимальные значения как деформационного воздействия при формировании структуры, так и единичных показателей свойств по-

луфабрикатов и готовых изделий на каждой стадии технологического процесса.

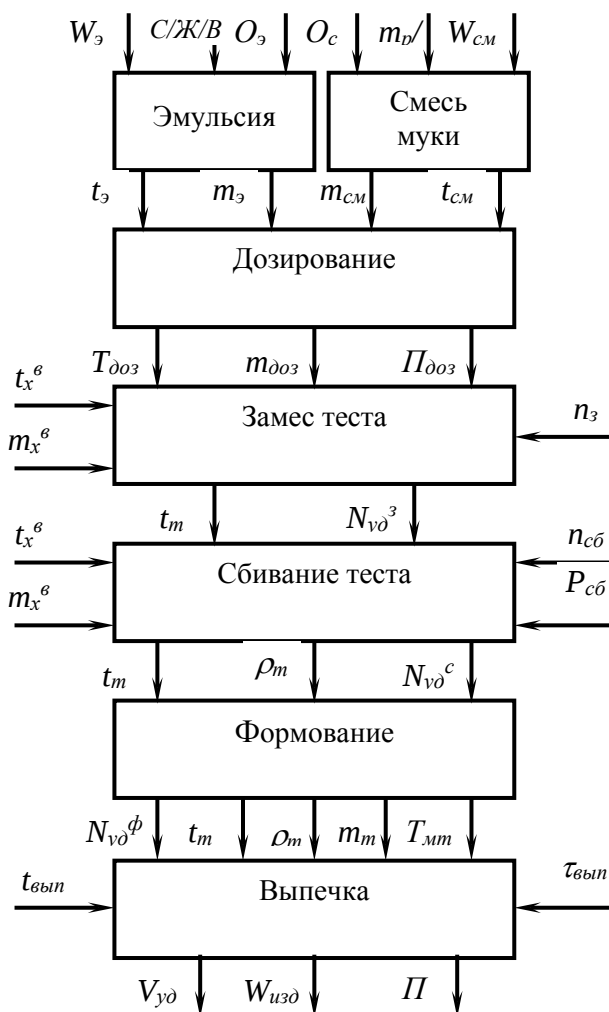


Рисунок 2 - Параметрическая схема процессов производства сбивных бисквитных изделий

На схеме использованы следующие обозначения:

- $W_э$ - влажность эмульсии;
- $C/Ж/В$ - соотношение сахар/жир/вода;
- $O_э$ - однородность эмульсии;
- $W_{см}$ - влажность смеси муки;
- $O_{см}$ - однородность смеси муки;
- $t_э$ - температура эмульсии;
- $m_э$ - масса эмульсии;
- $m_{см}$ - масса смеси муки;
- $t_{см}$ - температура смеси муки;
- $T_{доз}$ - точность дозирования;
- $m_{доз}$ - масса рецептурных компонентов;

$\Pi_{\text{доз}}$ - последовательность дозирования рецептурных компонентов;
 $t_{\text{с}}^x$ - температура охлаждающей воды;
 $m_{\text{с}}^x$ - масса охлаждающей воды;
 $N_{\text{уд}}^3$ - удельная мощность замеса;
 t_m^3 - температура замеса теста;
 n_3 - частота вращения рабочего органа при замесе;
 τ_3 - продолжительность замеса;
 $n_{\text{сб}}$ - частота вращения рабочего органа при сбивании;
 $P_{\text{сб}}$ - давление сбивания;
 $N_{\text{уд}}^{\text{сб}}$ - удельная мощность сбивания;
 $t_m^{\text{сб}}$ - температура сбивного теста;
 $\rho_m^{\text{сб}}$ - объемная масса сбивного теста;
 $N_{\text{уд}}^{\phi}$ - удельная мощность формования;
 t_m^{ϕ} - температура отформованного теста;
 m_m^{ϕ} - масса тестовой заготовки;
 ρ_m^{ϕ} - объемная масса отформованного сбивного теста;
 T_m^{ϕ} - точность формования тестовой заготовки.
 $t_{\text{вып}}$ - температура выпечки
 $\tau_{\text{вып}}$ - продолжительность выпечки
 $V_{\text{уд}}$ - удельный объем готового изделия
 $W_{\text{изд}}$ - влажность мякиша изделия
 Π - пористость мякиша

Таким образом, установлены технологические критерии (удельная мощность и объем готовых изделий, объемная масса сбивного теста) процессов интенсивного замеса, сбивания и формования кондитерского теста и выпечки тестовых заготовок. Реализованы новые технологические приемы смешивания, сбивания, формования и выпечки при производстве сбивных бисквитных изделий, которые открывают новые перспективы разработки высокоэффективных технологий и технологического оборудования для замеса, сбивания, формования и выпечки.

ЛИТЕРАТУРА

1 Магомедов, Г.О. Установка для приготовления сбивного теста (особенности работы и основные технические характеристики) [Текст] / Г.О. Магомедов, В.В. Богданов, А.В. Евсеев и др. // Вестник ВГУИТ. - 2013. - № 1. - С. 17-23.

REFERENCES

1 Magomadov, G.O. Facility for pre-paration of whipping dough (feature of work and the main technical characteristics) [Text] / G.O. Magomedov, V.V. Bogdanov, A.V. Yevseyev et al // Bulletin of VSUET. - 2013. - № 1. - P. 17-23.

Профессор Е.И. Пономарева, доцент Н.Н. Алехина,
аспирант И.А. Журавлева

(Воронеж. гос. Ун-т инженерных технологий) кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского и макаронного производств, тел. (473) 255-38-51

Выбор параметров приготовления закваски спонтанного брожения из биоактивированного зерна пшеницы

Одним из способов решения проблемы повышения качества полуфабрикатов и готовых хлебобулочных изделий является применение заквасок. В статье рассмотрен способ приготовления закваски спонтанного брожения из биоактивированного зерна пшеницы. При изучении влияния параметров приготовления спонтанной закваски на ее органолептические, физико-химические и микробиологические показатели выбраны рациональные параметры ее получения, способствующие повышению качества полуфабрикатов.

One way to improving the quality of semi-finished and finished bakery products is the use of starter cultures. This article describes a process for preparing sourdough bioactivated spontaneous fermentation of wheat. The influence of parameters of spontaneous sourdough cooking at its organoleptic, physico-chemical and microbiological parameters was studying, rational parameters of receipt that improve the quality of foods were chosen.

Ключевые слова: зерно пшеницы, параметры, закваска, спонтанное брожение.

В последнее время все большее внимание привлекают технологии приготовления хлеба из биоактивированного зерна, позволяющие сохранить в продукте большое количество витаминов группы В и клетчатки. Известно, что проросшие зерна злаков и их экстракты обладают бактерицидными свойствами, высокой биологической активностью, способствуют улучшению пищеварения, эвакуаторной функции кишечника, оптимизируют обмен веществ, стабилизируют нервную систему, стимулируют рост, повышают физическую работоспособность, являются мощнейшим природным биостимулятором [1].

Пророщенное зерно пшеницы отличается достаточной активностью амилалитических и протеолитических ферментов, что снижает качество хлеба по физико-химическим показателям [2]. Одним из способов его повышения является приготовление зернового хлеба с использованием заквасок, в том числе спонтанного брожения. Применение последних позволяет экономить дрожжи и чистые культуры молочнокислых бактерий.

Однако, несмотря на имеющиеся обширные материалы по применению заквасок, отсутствуют сведения о приготовлении заквасок спонтанного брожения из биоактивированного зерна пшеницы.

Поэтому целью исследований явился выбор параметров приготовления закваски спонтанного брожения из биоактивированного зерна пшеницы.

При подготовке зерна пшеницу очищали от сорной и зерновой примеси, промывали и выдерживали 24 ч при $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ в воде из разводной сети. После зерно измельчали, к полученной зерновой массе добавляли воду и замешивали полуфабрикаты влажностью 50 и 60 %, которые выдерживали в течение 48 ч при температуре 25, 30, 35, 40 и 45 $^\circ\text{C}$.

В процессе брожения закваски определяли органолептические показатели качества (запах, вкус) и изменение ее титруемой кислотности. В закваске, выброженной до кислотности 10,0 град, определяли число дрожжевых клеток и молочнокислых бактерий по методикам, основанным на высеве продукта и разведении его в питательные среды, с последующим обнаружением при помощи метода прямого счета. Показатель активности молочнокислых бактерий определяли по интенсивности восстановления сине-зеленой окраски янус-грюн.

При проведении органолептической оценки было установлено, что спонтанная закваска влажностью 50 % и 60 %, выброженная при температурах 25, 30, 35, 40 и 45 $^\circ\text{C}$ до кислотности меньше 8,0 град, обладала посторонним неприятным запахом, поэтому в дальнейших исследованиях закваску выбра-

живали до 8,0 - 10,0 град (таблица 1). При повышении температуры брожения закваски вкус и запах изменялся от слабо до резко выраженного кисломолочного.

Т а б л и ц а 1

Органолептические показатели
качества закваски

Показатели качества закваски, выброженной до кислотности 10,0 град при температуре, °С		Значения показателей закваски влажностью, %	
		50	60
25	Вкус	Кисломолочный, без посторонних привкусов	Кисломолочный, со спиртовым привкусом
	Запах	Кислый со слабовыраженным фруктовым ароматом	Кислый с резко выраженным фруктовым ароматом
30	Вкус	Кисломолочный, без посторонних привкусов	
	Запах	Выраженный молочно-кислый	Слабовыраженный молочно-кислый
35	Вкус	Кисломолочный, без посторонних привкусов	
	Запах	Выраженный молочно-кислый	Резко выраженный молочно-кислый
40	Вкус	Кисломолочный, без посторонних привкусов	
	Запах	Резко выраженный кисломолочный	
45	Вкус	Кисломолочный, без посторонних привкусов	
	Запах	Резко выраженный кисломолочный	

Установлено, что наибольшее кислотонакопление наблюдалось в закваске влажностью 50 %, брожение которой осуществлялось при температуре 45 °С (рисунок 1 а). Значение кислотности 10,0 град в ней наблюдалось через 13 ч брожения. В закваске, выбраживание которой происходило при 25 °С, данная кислотность достигалась за 33 ч, при 30 °С – за 28 ч, при 35 °С – за 22 ч, при 40 °С – за 16 ч.

Кислотность 10,0 град в закваске влажностью 60 %, брожение которой осуществлялось при температуре 25, 30, 35, 40 и 45 °С, наблюдалась через 52, 46, 36, 34 и 32 ч соответственно (рисунок 1 б).

Установлено, что повышение влажности закваски приводило к уменьшению кислотонакопления. Таким образом, кислотность 10,0 град в закваске влажностью 60 %, брожение которой осуществлялось при 30 и

35 °С, достигалась за 46 и 36 ч соответственно, а в закваске влажностью 50 %, подготовленной при тех же температурах – за 28 и 22 ч, что позволяет сократить процесс брожения закваски на 18 и 14 часов соответственно.

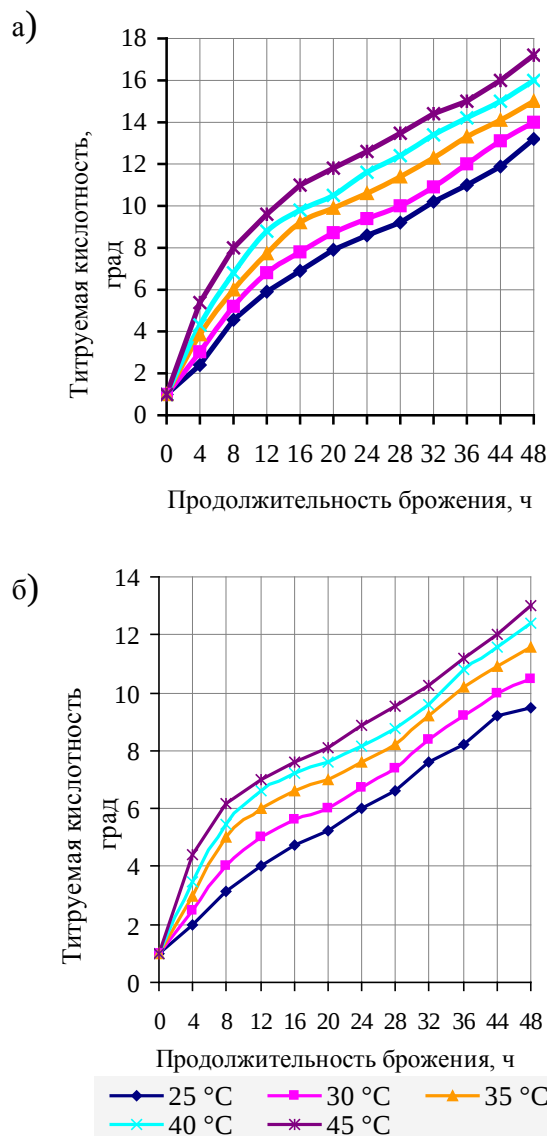


Рис. 1. Изменение кислотности закваски влажностью 50 % (а) и 60 % (б) в процессе брожения при разных температурах

Полученные данные были сопоставимы с результатами микробиологического анализа по определению содержания дрожжей и молочнокислых бактерий в закваске спонтанного брожения, приготовленной при разных температурах выбраживания (таблица 2).

Т а б л и ц а 2

Микрофлора закваски спонтанного брожения

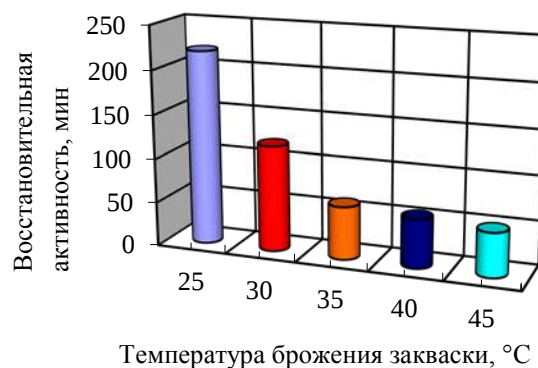
Температура брожения закваски, °С	Влажность закваски, %	Микробиологические показатели, КОЕ/г	
		Количество молочно-кислых микроорганизмов	Количество дрожжевых клеток
25	50	$1,0 \cdot 10^6$	$2,0 \cdot 10^2$
	60	$1,0 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^2$
30	50	$1,5 \cdot 10^6$	$5,0 \cdot 10^3$
	60	$1,0 \cdot 10^5$	$3,0 \cdot 10^3$
35	50	$5,0 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^3$
	60	$5,0 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^3$
40	50	$1,1 \cdot 10^9$	$3,0 \cdot 10^2$
	60	$1,2 \cdot 10^7$	$2,0 \cdot 10^2$
45	50	$1,5 \cdot 10^9$	менее $1,0 \cdot 10^2$
	60	$1,5 \cdot 10^7$	менее $1,0 \cdot 10^2$

Доказано, что с увеличением температуры закваски количество молочнокислых бактерий увеличивалось. Максимальное количество молочнокислых бактерий было обнаружено в закваске влажностью 50 % при температуре выбраживания 45 °С и составляло $1,5 \cdot 10^9$ КОЕ/г, минимальное – $1 \cdot 10^6$ КОЕ/г при температуре 25 °С. В закваске влажностью 60 % максимальное количество молочнокислых бактерий было так же обнаружено при 45 °С – $1,5 \cdot 10^7$ КОЕ/г, что в 100 раз меньше по сравнению с наибольшим их содержанием в полуфабрикате влажностью 50 %.

При повышении температуры выбраживания закваски до 30 - 35 °С также увеличивалось количество дрожжей, что обусловлено созданием оптимальных условий для их развития. Максимальное количество дрожжевых клеток наблюдалось в закваске влажностью 50 % при температуре выбраживания 30 °С и составляло $5,0 \cdot 10^3$ КОЕ/г, минимальное при температуре 45 °С – менее $1 \cdot 10^2$ КОЕ/г. В закваске влажностью 60 % максимальное их количество так же наблюдалось при 30 °С – $3,0 \cdot 10^3$ КОЕ/г, что в 1,7 раза меньше по сравнению с наибольшим их содержанием в полуфабрикате влажностью 50 %.

Установлено, что в заквасках влажностью 50 и 60 % наибольшие различия наблюдались в количественном составе молочнокислых бактерий.

Восстановительная активность молочнокислых бактерий в закваске влажностью 50 %, выброженной до 10,0 град при 45 °С составляла 50 мин, при 40 °С – 55 мин, 35 °С – 60 мин, 30 °С – 120 мин и 25 °С – 200 мин (рисунок 2).



Температура брожения закваски, °С

Рисунок 2 - Изменение активности молочнокислых бактерий закваски влажностью 50 % при разных температурах

Таким образом, в ходе проведенных исследований было установлено, что при уменьшении влажности до 50 % и повышении температуры выбраживания полуфабриката от 25 до 45 °С увеличивалось кислотонакопление закваски, что связано с созданием благоприятных условий для развития молочнокислых бактерий, при этом также происходило улучшение их восстановительной активности.

На основании полученных данных были выбраны параметры приготовления закваски спонтанного брожения из биоактивированного зерна пшеницы: влажность – 50 %, температура – 30-35 °С, конечная кислотность – 8,0-10,0 град, продолжительности ее брожения – 22-24 ч. Рекомендованные параметры позволяют получать закваску с наилучшими органолептическими, физико-химическими и микробиологическими показателями.

ЛИТЕРАТУРА

1 Хусанов, И. Механизм проникновения влаги в зерно [Текст] / И. Хусанов, С. Бабаев, В. Раджабова и др. // Хлебопродукты. – 2010. – № 6. – С. 52–53.

2 Козубаева, Л.А. Применение заквасок при производстве зернового хлеба [Текст] / Л.А. Козубаева, С.И. Конева // Хлебопродукты. – 2000. – № 2. – С. 21–22.

REFERENCES

1 Husanov, I. Mechanism moisture in grain [Text] / I. Husanov, S. Babaev, V. Radjabov et al // Bread. – 2010. – № 6. – P. 52–53.

2 Kozubaeva, L.A. The use of starter cultures in the production of corn bread [Text] / L.A Kozubaeva, S.I. Koneva // Bread. – 2000. – № 2. – P. 21–22.

Профессор Л.П. Пашенко, студентка Г.В. Колосова

(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра технологии хлебопекарного, макаронного и кондитерских производств, тел. 255-38-51

ассистент В.Л. Пашенко

(Воронеж. гос. аграрный ун-т), кафедра технологии переработки растениеводческой продукции)

Натуральный сахарозаменитель в технологии пищевых продуктов

Разработана новая технология хлебобулочного изделия с улучшенными потребительскими свойствами "Данко" с использованием натурального сахарозаменителя-тагатозы.

Developing of new technology of bakery products with consuming properties "Danko" using natural sweetener-tagatose.

Ключевые слова: технология, пищевые продукты, тагатоза, натуральный подсластитель.

Хлебобулочные изделия – продукты ежедневного потребления, играющие исключительно важную роль в питании. Повышая их пищевую ценность, снижая энергетическую, можно целенаправленно воздействовать на здоровье человека и его трудоспособность. Согласно современным тенденциям науки о питании ассортимент хлебопекарной продукции должен быть расширен выпуском изделий повышенного качества и пониженной энергетической ценности, профилактического и лечебного назначения [3].

Целью научного исследования явилось создание нового сдобного хлебобулочного изделия «Данко» с пониженной энергетической ценностью, обладающего лечебно-профилактическими свойствами.

Одним из наиболее важных рецептурных компонентов в технологии хлебобулочного изделия является наиболее энергоемкий компонент – сахароза. В новом хлебобулочном изделии сахароза заменена на тагатозу.

Тагатоза – это низкокалорийный подсластитель натурального происхождения со следующими функционально-технологическими свойствами: приближена к вкусовому профилю сахарозы, ее сладость составляет 92 % от сладости сахарозы; имеет низкую энергетическую ценность (ЭЦ = 1,5 ккал/г (6,3 кДж), в то время как у сахарозы ЭЦ = 4,0 ккал/г (16,8 кДж)); является усилителем вкуса [4].

Потребление D-тагатозы не вызывает увеличение концентрации глюкозы в крови или уровня инсулина, поэтому ее можно рассматривать как сахарозаменитель для людей, страдающих диабетом I и II типа.

По химическому строению D-тагатоза представляет собой кетогексозу, которая отличается от D-фруктозы только заместителями у C₄-го атома (рисунок 1).

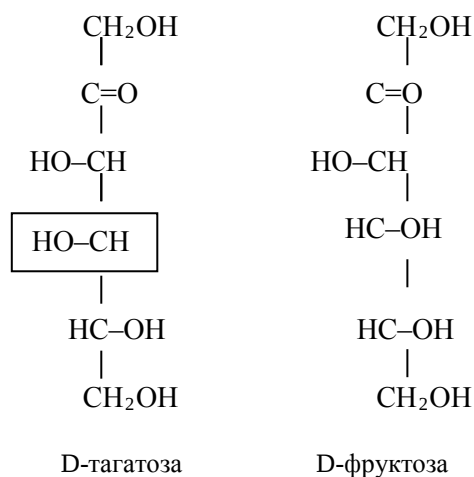


Рисунок 1 - Структурная формула D-тагатозы и D-фруктозы

Установлен её синергизм с высокоинтенсивными подслащивающими веществами, что позволяет значительно улучшить качественные характеристики продуктов, содержащих эти вещества. Тагатоза – полностью натуральный сахар, который всеобщее признан как безопасный в соответствии с инструкцией Федерального Управления по контролю за продуктами питания и лекарственными препаратами (GRAS статус).

Ее получают путем сепарирования, ультрафильтрации, ферментативного гидролиза лактозы, изомеризации, нейтрализации в присутствии CO₂, центрифугирования и деионизации, сгущения и выпаривания (рисунок 2).

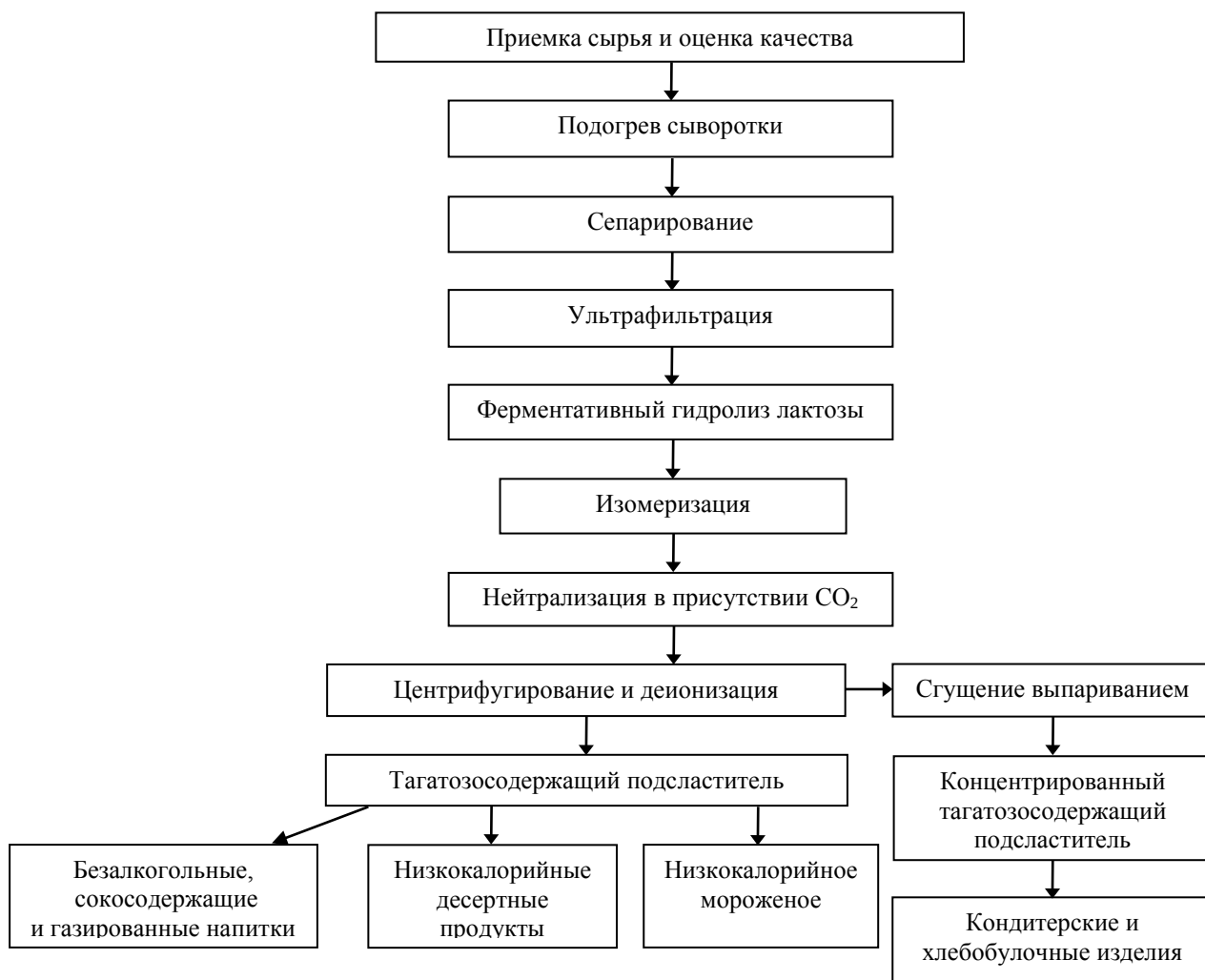


Рисунок 2 - Технологическая схема производства тагатозосодержащего подсластителя и его применение

Тагатоza по сравнению с другими сахарами характеризуется следующими эффектами позитивного действия на организм: проявляет пребиотические свойства; поддерживает иммунитет; подавляет развитие онкозаболеваний толстого кишечника и препятствует образованию биопленок; предотвращает гипергликемию; эффективна при лечении анемии и гемофилии; снижает риск возникновения кариеса.

Эти положительные свойства позволяют

сделать вывод об эффективности применения тагаты в технологии хлебобулочных изделий. Она является безопасным и эффективным низкокалорийным подсластителем, который может использоваться для широкого ассортимента пищевых продуктов, в т.ч. при производстве здоровой и диетической пищи, конфет, жевательной резинки, пирожных, низкокалорийного мороженого и т.п. (таблица 1).

Таблица 1

Рекомендуемые дозировки тагаты в пищевых продуктах

Наименование продукта	Массовая доля в продукте (%)	Концентрация (мг/кг)
Мороженое с пониженным содержанием жира, обезжиренное мороженое	3	30000
Жевательная резинка	60	600000
Кондитерские изделия	10-15	100000-150000
Сахарная глазурь, глазури	30	300000
Готовые сухие завтраки	4-20	400000 - 200000
Негазированные диетические напитки	1	10000
Газированные диетические безалкогольные напитки	1	10000
Замороженные молочные десерты с пониженным содержанием жира	3	30000
Диетические средства	10	100000

Вторым энергетически емким компонентом в рецептуре хлебобулочного изделия является жировой продукт. Для этих целей нами обоснован выбор костного жира.

Костный жир – это натуральный продукт, который не подвергался гидрогенизации. Он, в отличие от маргарина, не содержит трансизомеров жирных кислот, которые негативно сказываются на здоровье человека, способствуя развитию раковых заболеваний. В костном жире преобладает ненасыщенная олеиновая кислота (59 %), содержание полиненасыщенных жирных кислот составляет 5-10 %. Костный жир содержит в своем составе около 0,2 % фосфолипидов, лецитин, стериды, витамин А и каротин [2].

Способ приготовления сдобного хлебобулочного изделия «Данко» включает замес

теста из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта, дрожжей хлебопекарных прессованных, соли поваренной пищевой, тагатозы, костного жира, молочной сыворотки и воды; его брожение (90 мин); обминку; разделку на тестовые заготовки; расстойку (40 мин) и выпечку (35 мин). Способ отличается тем, что при замесе теста вместо сахара-песка вносят тагатозу, взятую в количестве 10 % к общей массе пшеничной муки, также вносят молочную сыворотку, взятую в количестве 10 % к общей массе пшеничной муки, в качестве жиросодержащего компонента используют костный жир, взятый в количестве 7 % к общей массе пшеничной муки.

Тесто готовят при количестве рецептурных компонентов, представленных в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

Рецептура хлеба сдобного «Данко» и хлеба сдобного по ГОСТ 9831-61

Наименование сырья	Расход сырья, г на 100 г пшеничной муки	
	Хлеб сдобный (ГОСТ 9831-61) (контроль)	Хлеб сдобный «Данко» (опыт)
Мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта	100,0	100,0
Дрожжи хлебопекарные прессованные	2,5	3,0
Соль поваренная пищевая	1,5	1,3
Массовая доля сахарозаменителя (тагатозы), при сладости 92 % от сладости сахарозы	–	9,2
Массовая доля костного жира с содержанием костного жира 7 %	–	7,0
Молочная сыворотка	10,0	10,0
Сахар-песок	10,0	–
Маргарин столовый с содержанием жира 82%	8,0	–
Вода питьевая	по расчету	по расчету

Технический результат изобретения заключается в улучшении органолептических и физико-химических показателей качества готовых изделий, повышении их пищевой ценности и приобретении функциональных свойств.

Биотехнологические характеристики теста сдобного хлеба «Данко» (опыт) и хлеба сдобного (ГОСТ 9831-61) (контроль) представлены на рисунках 3 и 4.

Бродильная активность теста представлена на рисунке 3.

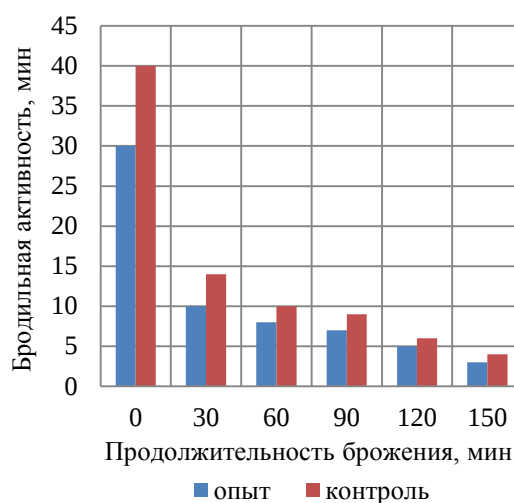


Рисунок 3 - Бродильная активность теста

Газообразующая способность теста представлена на рисунке 4.

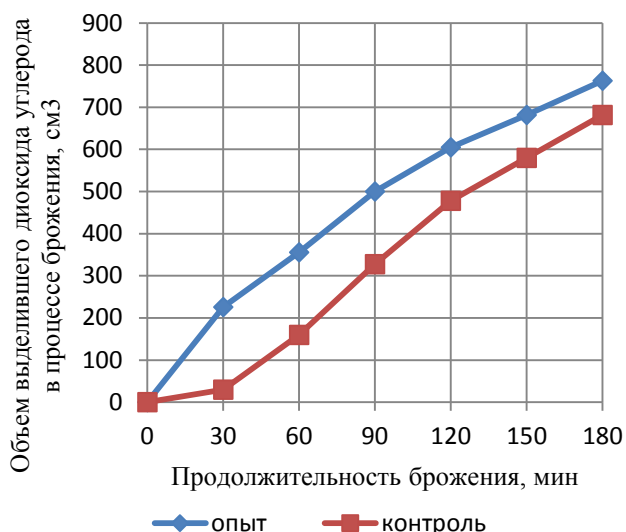


Рисунок 4 - Газообразующая способность теста

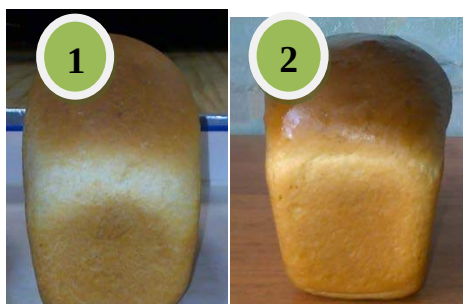


Рисунок 5 - Внешний вид готовых изделий:
1- сдобный хлеб «Данко» (опыт);
2- хлеб сдобный (ГОСТ 9831-61) (контроль).

Предложенный способ приготовления сдобного хлебобулочного изделия «Данко» позволяет заменить сахар-песок низкокалорийным подсластителем натурального происхождения, т. е. тагатозой, ввести костный жир, молочную сыворотку и улучшить органолептические и физико-химические показатели качества, повысить его пищевую ценность, функциональность.

Полученное хлебобулочное изделие, обладает следующими органолептическими показателями качества готовых изделий: цвет светло-желтый с золотистым оттенком, сдобный приятный аромат и сладкий вкус. По физико-химическим показателям (пористость, удельный объем изделий) превосходит контрольные образцы (по пористости – на 5,97 %, по удельному объему – на 12,46 %). Имеет повышенную пищевую ценность (по белкам, жирам и углеводам – на 14,53, то есть

в 7,35 раз и 12,78 % соответственно). В значительной мере повышается содержание кальция и рибофлавина [1].

Благодаря содержанию некоторого количества витаминов, микро- и макроэлементов, содержащихся в молочной сыворотке, происходит обогащение полученного изделия данными составляющими.

ЛИТЕРАТУРА

1 Пашенко, Л.П. Повышение пищевой ценности мучных кондитерских изделий с сахарозаменителем [Текст] / Л.П. Пашенко, В.А. Лосева, Ю. Н. Труфанова и др. // Материалы 3-й Всесоюзной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности», г. Бийск, 28-30 апр. – 2010. - Ч. 2. - С. 37-39.

2 Faivishesky, M. Components of bones for food products [Text] / M. Faivishesky, L. Paschenko, E. Kurchaeva et al // Fleisch wirtschaft. International. - 2012. - № 2. - P. 22–25.

3 Пашенко, Л.П. Технология хлебобулочных изделий [Текст] / Л.П. Пашенко, И.М. Жаркова. – Воронеж: ВГТА, 2011. – 692 с.

4 Сахарозаменитель [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sparta-tomsk.ru/article_info.php?articles_id=201. – Загл. с экрана.

REFERENCES

1 Paschenko, L.P. Improving the nutritional value of confectionery with sweetener [Text] / L.P. Paschenko, V.A. Loseva, Y.N. Trufanova et al // The materials of the 3rd All-Union Scientific -practical conference of students and young gut - scientists with international participation "Technology and equipment of chemical , biotechnology and food industries", Byisk, 28-30 April. - 2010. – P. 2. - P. 37-39.

2 Faivishesky, M. Components of bones for food products [Text] / M. Faivishesky, L. Paschenko, E. Kurchaeva et al // Fleisch wirtschaft. International. - 2012. - № 2. - P. 22–25.

3 Paschenko, L.P. Technology bakery [Text] / L.P. Paschenko, I.M. Zharkov. - Voronezh: VSTA, 2011. - 692 p.

4 Sweetener [Electronic resource]. – Access mode: http://sparta-tomsk.ru/article_info.php?articles_id=201. – Title screen.

УДК 664

Профессор Л.В. Антипова, доцент С.А. Сторублевцев,
Ф.С. Базрова

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра технологии продуктов животного происхождения, тел. (473) 255-37-51

доцент А.Н. Рязанов

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра машин и аппаратов пищевых производств, тел. (473) 255-38-96

Алиментарнокорректирующие свойства йодобогащенного функционального продукта

В статье приведены данные по исследованию алиментарнокорректирующих свойств функционального продукта – мясных полуфабрикатов, обогащенных йодом.

The article presents data on the study of alimentary correcting properties of the functional iodine fortified meat products.

Ключевые слова: функциональный продукт, алиментарная коррекция, доклинические испытания.

В последнее время все чаще учеными и специалистами пищевой промышленности и медицины используются понятия функциональное питание и функциональные продукты питания.

В настоящее время доля функциональных продуктов питания в общем объеме пищевой продукции в мире составляет 1 %.

На современном этапе преобладающим технологическим приемом создания функциональных пищевых продуктов и напитков является их обогащение. В соответствии с основными правилами обогащения пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами обогащенным является продукт (напиток), за счет которого при обычном уровне его потребления, определяемом как усредненная суточная порция, удовлетворяется от 15 % до 50 % от нормы физиологической потребности в соответствующем микронутриенте. Для обогащения рекомендуется использовать те витамины и минеральные вещества, недостаточное потребление или признаки дефицита которых широко распространены и реально обнаружены.

Для подтверждения функциональности продукта необходимо проведение как минимум доклинических испытаний на лабораторных животных.

В рамках выполнения ФЦП по тематике «Молекулярная коррекция химического состава пищевых систем на основе сорбционных

свойств коллагеновых белков» (государственный контракт № 14.512.11.0039) был разработан ФП (функциональный продукт) – полуфабрикаты мясные рубленые, обогащенные йодированным белком PROMIL C95.

Одним из показателей функциональности являются алиментарнокорректирующие свойства, т.е. способность продукта восстанавливать уровень микронутриента до физиологического при нарушениях деятельности нейро-гуморальной системы.

Для установления алиментарнокорректирующих свойств ФП-полуфабрикатов рубленых, обогащенных йодированным белком PROMIL C95, проводили исследования на крысах линии Вистар.

Модель биологических исследований представлена в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Модель биологических исследований

Вид животных	Количество групп животных	Количество животных в группе	Продолжительность эксперимента
Крысы	8	10	28 суток
Мыши	4	10	28 суток

Описание групп животных:

контрольные – животные находились на общевиварном рационе;

опыт – 1 (мерказолил) – модель дефицита йода;

опыт – 2-7 (крысы) – животным до еды на фоне модели йодной недостаточности вводили

ФП – полуфабрикаты мясные рубленые, обогащенные йодом.

Введение мерказолила и исследуемых средств производили перорально через металлический зонд. Животных фиксировали головой вверх, запрокидывая ее назад. Зонд продвигали под языком у задней стенки по ходу пищевода.

По окончании эксперимента животных эвтаназировали передозировкой эфира (крысы) и цервикальной дислокацией шейных позвонков (мыши).

Учитывая патогенетические механизмы развития гипотиреоза, для воспроизведения основных его симптомов была создана модель экспериментального зоба. Для этого использовали тиреостатик мерказолил в дозе 25 мг/кг массы животного.

Мерказолил ускоряет выведение йодидов из щитовидной железы, блокирует пероксидазу и угнетает процессы йодирования тирозина с образованием трийодтиронина и тироксина. Он активирует синтез и выделение гипофизом тиреотропного гормона, что сопровождается гиперплазией щитовидной железы.

Чувствительным индикатором минимальной тиреоидной недостаточности является изменение гормонального уровня в сыворотке крови. Регуляция синтеза и секреции осуществляется по принципу отрицательной обратной связи: высокий уровень тироксина (ТТ4) и трийодтиронина (ТТ3) подавляет выделение тиреотропного гормона (ТТГ), а низкий – стимулирует.

В экспериментах регистрировали уровень тиреотропных гормонов в сыворотке крови опытных животных на фоне гипотиреоза и при последующей коррекции с использованием ФП-полуфабрикатов рубленых, обогащенных йодированным белком PROMIL C95. Концентрация йода рассчитывалась на массу животного и соответствовала 200 мкг йода. Также рассматривали дозы ниже (50 мкг) и выше (2000 мкг), чем среднесуточная рекомендуемая доза 200 мкг.

Введение мерказолила животным в течение 14 дней приводило к снижению уровня циркулирующих в крови тиреоидных гормонов по сравнению с контрольной группой: тироксина – в 2,2 раза, трийодтиронина – в 2 раза, при этом концентрация тиреотропного гормона повышалась в 2 раза (таблица 1).

Т а б л и ц а 1

Уровень тиреоидных гормонов в сыворотке крови животных при экспериментальном гипотиреозе

Группа (n=10) в зависимости от введения испытуемых средств	Доза мг/кг	Концентрация гормонов		
		ТТ4, нмоль/л	ТТ3, нмоль/л	ТТГ, мкМЕ/мл
Контрольная	-	103,37±10,6	1,38±0,04	0,79±0,03
Мерказолил	25	46,50±7,74	0,70±0,01	1,56±0,10
Мерказолил→ ФП – полуфабрикат мясной рубленный обогащенный йодом в дозе 200 мкг/кг	25	100±10,6	96±0,01	96±0,10

Введение ФП-полуфабриката мясного рубленого, обогащенного йодированным белком PROMIL C95 при мерказолиловом гипотиреозе способствовало восстановлению показателей гормонального фона. Причем в эксперименте прослеживалась зависимость показателей от дозы микроэлемента.

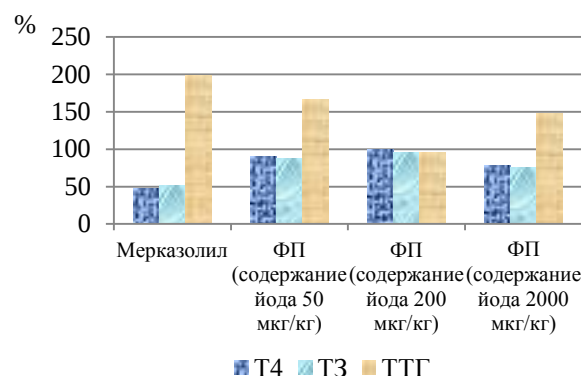


Рисунок 1 - Изменение уровня тиреотропных гормонов при разных концентрациях микроэлемента в ФП-полуфабриката мясного рубленого, обогащенного йодированным белком PROMIL C95

Так, при введении ФП-полуфабриката мясного рубленого, обогащенного йодированным белком PROMIL C95 с содержанием йода 50 мкг, уровень тиреотропного гормона снизился на 12,2 %, уровни тироксина и трийодтиронина увеличились соответственно на 98 % и 58,6 % относительно показателей в группе крыс, получавших мерказолил (рисунок 1).

Гормональный фон в группе составил: ТТ4 – 89 %, ТТ3 – 80 % относительно контрольной группы и уровень ТТГ был повышен на 73,4 %. ФП – полуфабрикат мясной рубленый обогащенный йодом с концентрацией 50 мкг йода за 14 дней эксперимента не восстанавливал полностью уровень тиреотропных гормонов. Это, возможно, связано с недостаточной концентрацией йода для данного срока эксперимента.

Концентрация тиреоидных гормонов нормализовалась у животных, получавших ФП-полуфабриката мясного рубленого, обогащенного йодированным белком PROMIL C95, с дозой 200 мкг йода. Так, уровень тироксина составил 98,8 %, трийодтиронина – 91,3 %, тиреотропного гормона – 91,1% от уровня концентрации гормонов в контрольной группе животных.

Применение ФП-полуфабриката мясного рубленого, обогащенного йодированным белком PROMIL C95, с концентрацией микроэлемента 2000 мкг приводило к снижению ТТГ на 26,3 %, повышению уровня ТТ4 на 64,4 % и ТТ3 на 32,8 % относительно показателей тиреотропных гормонов в группе крыс с гипотиреозом. Гормональный уровень данной группы животных не восстанавливался до уровня гормонов контрольной группы (рисунок 1).

Вероятно, это связано с эффектом, когда большие дозы микроэлемента снижают организацию йода и последующий синтез тиреотропных гормонов. Однако это транзитное явление, так как щитовидная железа обладает собственным регуляторным механизмом, обеспечивающим ее нормальную функцию даже в условиях избытка йода. Синтез тиреоидных гормонов затем возобновляется, несмотря на продолжающееся избыточное поступление йода, что предупреждает развитие гипотиреоза и образование зоба - это феномен ускользания.

На основании проведенных исследований получен положительный эффект, выражающийся в нормализации гормональной деятельности щитовидной железы, что позволяет предполагать присутствие алиментарно-корректирующих свойств у разработанного йодобогащенного продукта.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» по государственному контракту № 14.512.11.0039 от 20.03.2013 г.

ЛИТЕРАТУРА

1 Ремизов, С.В. Процесс создания и производства функциональных продуктов питания в условиях малых инновационных предприятий [Текст] / С.В. Ремизов, Л.В. Майорникова // Ползуновский альманах. – 2011. - №4/2. – С. 63-66.

2 Микрюкова, Н.В. Основные аспекты получения функциональных продуктов питания [Текст] / Н.В. Микрюкова // Молодой ученый. — 2012. — №12. — С. 90-92.

REFERENCES

1 Remizov, S.V. The process of creation and production of functional foods in small innovative enterprises [Text] / S.V. Remizov, L.V. Mayurnikova // Polzunovsky almanac. – 2011. - № 4/2. – P. 63-66.

2 Mikryukova, N.V. Main aspects of receiving functional food [Text] / N.V. Mikryukova // Young scientist. — 2012. — № 12. — P. 90-92.

УДК 636.085.54

Доцент Л.И. Василенко

(Воронеж. гос. ун-т. инж. тех.) кафедра технологии молока и молочных продуктов,
тел. (473) 255-35-54

доцент. Л.Н. Фролова

(Воронеж. гос. ун-т. инж. тех.) кафедра технологии хранения и переработки зерна,
тел. (473) 255-65-11

аспирант И.В. Драган, магистр С.В. Мошкина

(Воронеж. гос. ун-т. инж. тех.) кафедра процессов и аппаратов пищевых и химических
производств, тел. (473) 255-65-11

Создание купажей функциональных растительных масел с длительным сроком хранения

Предложено создание купажей растительных масел с длительным сроком хранения. Объектом исследования служили трехкомпонентная смесь растительных масел, оптимизированных по жирнокислотному составу (68%-подсолнечного+25%-оливкового+7%-льняного). Подобран антиоксидант, способный влиять на протекание окислительных и гидролитических процессов в купажах растительных масел.

Creation blends of vegetable oils with a long period of storage is offered. We studied three-component blend of vegetable oils that are optimized for fatty acid composition (68% - sunflower + 25 % - olive + 7 % - linseed). The antioxidant, capable to influence course of oxidizing and hydrolytic processes in blends of vegetable oils is picked up.

Ключевые слова: купажи, растительное масло, аноксомер

Современное производство продуктов питания перешло на новую ступень развития, когда продовольственная программа должна решать проблему удовлетворения не только потребностей населения в отелных пищевых продуктах, но и обеспечивать их сбалансированность по основным нутриентам [5]. Преимущества использования растительного масла для коррекции недостаточности полиненасыщенных жирных кислот и жирорастворимых витаминов перед содержащими их лекарственными препаратами заключаются в том, что растительное масло является традиционным пищевым продуктом, не дает осложнений в организме, а также значительно дешевле лекарственных препаратов, что немаловажно для малообеспеченных групп населения [6].

Из всего многообразия масличных культур, произрастающих в центрально-черноземном районе, были выбраны культуры с наиболее хорошими показателями, из которых в дальнейшем были разработаны купажи растительных масел методом линейного программирования. Купажи могут использоваться не только как продукт повседневного питания,

но и в качестве продукта лечебно-профилактического действия.

При производстве и хранении растительных масел и купажей они подвергаются окислению и гидролизу, что в дальнейшем может приводить к нежелательным изменениям состава жирового продукта, существенно снижать его качество и безопасность, вызывать изменение химического состава и появление ряда веществ, характеризующих порчу. Коэффициент преломления при этом увеличивается, что обусловлено повышением молекулярной массы за счет образования окиссоединений, изменения глицеридного состава и степени неопределенности [5].

С помощью рефрактометра УРЛ был определен коэффициент преломления исходных растительных масел, а также созданных нами купажей (таблица 1). Коэффициент преломления растительных масел при 20°C составляет 1,4736-1,4762 (ГОСТ 5482-90), исследуемые образцы соответствуют стандарту качества.

Коэффициент преломления растительных масел

№ п/п	Вид масла	Коэффициент преломления	Температура, °С	Коэффициент при температуре опыта
1	Подсолнечное	1,4742	22	1,4749
2	Рапсовое	1,4718	22	1,4725
3	Горчичное	1,4720	22	1,4727
4	Расторопши	1,4710	22	1,4717
5	рапс.=1,56 подсол.+1,08 растор.	1,4725	22	1,4732
6	горч.=4,69 подсол.+3,23 растор.	1,4722	22	1,4729
7	растор.=0,31 горч.+0,93 рапс.	1,4716	22	1,4723
8	подсол.=0,64 рапс.+0,213 горч.	1,4726	22	1,4733
9	«Слобода»	1,474	22	1,4747

Исследование динамики окислительных и гидролитических процессов во вновь разрабатываемых купажах представляется актуальным, так как позволяет установить сроки хранения новых продуктов.

Цель исследования состоит в сравнении стойкости при хранении купажей растительных масел, рекомендуемых для функционального питания. Объектом исследования служит трехкомпонентная смесь растительных масел, оптимизированных по жирнокислотному составу (68%-подсолнечного + 25%-оливкового + 7%-льняного).

Одним из основных контролируемых показателей качества растительных масел служит пероксидное число, которое характеризуется количеством йода (в процентах), эквивалентным йодистоводородной кислоте, прореагировавшей в стандартных условиях с перекисной или гидроперекисной группами растительного масла. Это число показывает, как протекают

процессы во время хранения на основании оценки изменения содержания первичных продуктов окисления (перекисей и гидроперекисей). В смеси растительных масел присутствуют растительные масла с различным жирнокислотным составом и, следовательно, поведение таких смесей при хранении будет отличаться от индивидуальных масел в связи с тем, что в них содержится различное количество инициаторов окислительных процессов. Физико-химические показатели определяли по стандартным методикам. Образцы купажей масел хранили в темной/светлой полимерной таре без доступа воздуха и света при температуре 20 °С в течение 16 недель. Каждые 14 дней определяли значение пероксидного и кислотного чисел. Полученные результаты изменения в процессе хранения пероксидного числа (ПЧ) разработанных купажированных растительных масел представлены на рисунке 1.

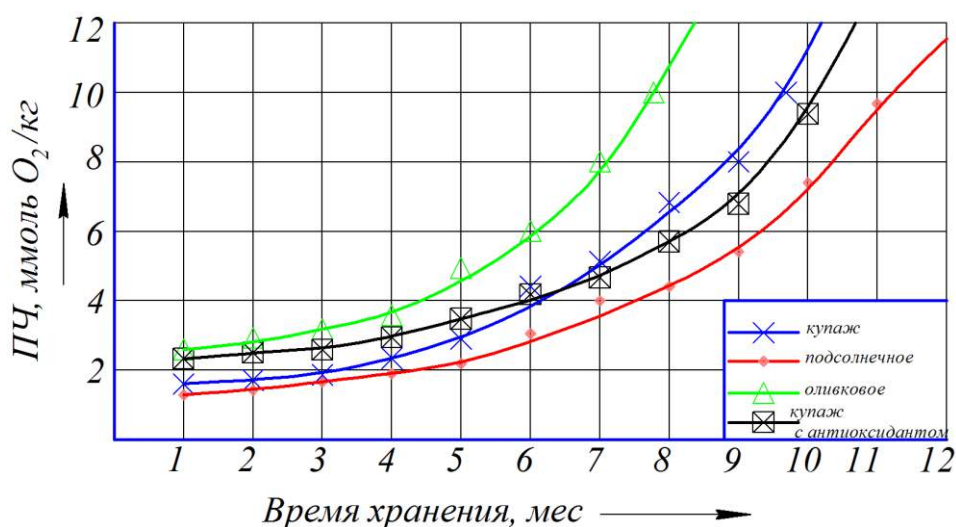


Рисунок 1 - Зависимость пероксидного числа масел и купажа от времени хранения

Данные эксперимента показали, что в процессе хранения как в индивидуальных маслах, так и в купаже происходит накопление продуктов окисления, что выражается в увеличении пероксидного числа. Композиция масел уступает по устойчивости к окислению оливковому и подсолнечному, но при добавлении антиоксиданта пероксидное число изменяется медленнее.

В процессе хранения растительных масел кроме окислительных процессов происходит гидролиз, приводящий к накоплению свободных жирных кислот и, следовательно, к изменению химического состава масла. Это может существенно снижать качество растительного масла и степень его безопасности для здоровья человека.

Показатели гидролитических процессов в растительном масле служит кислотное число – условная величина, характеризующая

содержание в 1 г растительного масла свободных жирных кислот и других титруемых щелочью веществ, выраженная в миллиграммах едкого кали, необходимого для их нейтрализации.

Кислотное число, так же как и пероксидное, является показателем качества и безопасности растительного жира, поэтому оно строго регламентируется.

В ходе исследования определяли кислотное число (КЧ) разработанного купажа, растительных масел и купажа с добавлением антиоксиданта в процессе хранения – в день купажирования и через каждые 14 дней. Полученные результаты представлены на рисунке 2.

В процессе хранения кислотное число у всех образцов разработанных купажей и индивидуальных масел возрастает. Кислотное число купажа с добавлением антиоксиданта несколько ниже, чем в купаже без него, но выше, чем в индивидуальных маслах.

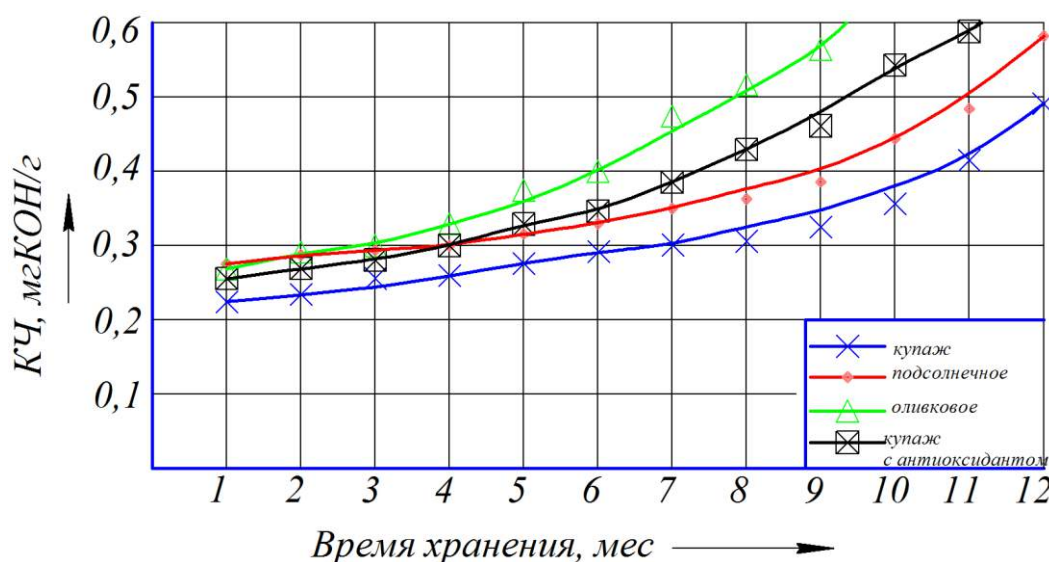


Рисунок 2 - Зависимость кислотного числа масел и купажа от времени хранения

Полученные данные о пониженной устойчивости смесей растительных масел к окислению делают актуальным подбор антиоксидантов, способных влиять на протекание окислительных и гидролитических процессов в купажах растительных масел. Перспективно введение такого антиоксиданта как аноксомер, который при всех прочих равных условиях (температура, влажность) отличается наибольшим стабилизирующим действием.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Василенко, В.Н. Улучшение системы менеджмента качества масложирового предприятия на основе совершенствования технологических процессов [Текст] / В.Н. Василенко, В.М. Баутин, Л.Н. Фролова и др. // Вестник ВГУИТ. – 2012. – № 1. – С. 183-187.
- 2 Василенко, В.Н. Исследование кинетических закономерностей процесса извлечения растительных масел в шнековом маслопрессе [Текст] / В.Н. Василенко, М.В. Копылов // Вестник ВГУИТ. - 2012. – № 1. – С. 10-12.

3 Шевцов, А.А. Технология комбикормов: новые подходы и перспективы [Текст]: учебное пособие / А.А. Шевцов, В.Н. Василенко, Е.С. Шенцова и др. – Воронеж: ВГТА, 2011. - 248 с.

REFERENCES

1 Vasilenko, V.N. Improvement of the quality management system of fat and oil companies by improving processes [Text] / V.N. Vasilenko, V.M. Bautin, L.N. Frolova et al // Bulletin of VSUET. - 2012. - № 1. - P. 183-187.

2 Vasilenko, V.N. The study of kinetics of the process of extracting vegetable oil in a screw oil press [Text] / V.N. Vasilenko, M.V. Kopylov // Bulletin of VSUET. - 2012. - № 1. - P. 10-12.

3 Shevtsov, A.A. Technology feeds: new approaches and perspectives [Text]: a textbook / A.A. Shevtsov, V.N. Vasilenko, E.S. Shentsova et al. - Voronezh: VSTA, 2011. - 248 p.

Профессор Г.О. Магомедов, доцент А.А. Журавлев,
доцент М.Г. Магомедов, аспирант А.А. Литвинова
(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.), кафедра технологии хлебопекарного, макаронного
и кондитерского производств, тел. 8 (920) 432-89-31

Оптимизация условий ферментативной модификации пюре сахарной свеклы с использованием экспериментально- статистического подхода

Проведена оптимизация условий ферментативного гидролиза пюре сахарной свеклы. Гидролиз осуществляли ферментным препаратом Rohapect DA6L. Получены регрессионные уравнения, описывающие влияния дозировки ферментного препарата и температуры процесса на вязкостные свойства пюре. Установлены оптимальные значения факторов и параметра оптимизации процесса.

Optimization of conditions for enzymatic hydrolysis of sugar beet puree is performed. Hydrolysis was carried by the enzyme preparation Rohapect DA6L. Regression equations describing the effect of the dosage of enzyme preparation and process temperature on the viscosity properties of puree are obtained. The optimum values of the factors and parameter optimization are defined.

Ключевые слова: условия оптимизации, сахарная свекла, ферментный препарат, концентрированная паста.

В настоящее время перед хлебопекарной и кондитерской промышленностью стоит задача по созданию принципиально новых кондитерских и хлебопекарных изделий функционального назначения длительного срока хранения с целью экономии дефицитного сырья, совершенствования структуры ассортимента и снижения сахароемкости. Использование местных нетрадиционных видов растительного сырья может способствовать решению поставленной задачи.

Сахарная свекла – техническая культура с большим потенциалом применения в пищевой промышленности, использование которой в настоящее время недостаточно. Биохимический потенциал сахарной свеклы обуславливает широкие возможности ее применения в пищевой промышленности с целью повышения пищевой и биологической ценности продуктов питания. В связи с этим, актуальной является создание новой схемы переработки сахарной свеклы в полуфабрикат, который представляет собой концентрированную пасту с массовой долей сухих веществ 40-60 %.

Концентрированная паста из сахарной свеклы может стать альтернативой основному сырью кондитерского производства – сахару и патоке, выполняя структурообразующую роль

в кондитерских изделиях и повышая их пищевую ценность, сокращая при этом технологический процесс и значительно снижая себестоимость готовой продукции.

Качество концентрированной пасты зависит от вязкости используемого пюре, резкое возрастание которой при концентрировании замедляет процесс удаления влаги, усложняет работу оборудования, а также приводит к снижению органолептических и физико-химических показателей готовой продукции.

Как известно, вязко-пластичные свойства фруктового и овощного пюре обусловлены содержанием пектиновых веществ (протопектин, растворимый пектин, пектин межклеточного вещества), гемицеллюлоз и целлюлоз.

Для обеспечения равномерного протекания процесса концентрирования свекловичное пюре подвергали ферментативной обработке, использовали ферментный препарат нового поколения Rohapect DA6L (производитель – фирма AB Enzymes GmbH, Германия), который представляет собой высококонцентрированный комбинированный пектиназно-арабаназный ферментный препарат, полученный в результате ферментации штамма *Aspergillus niger*.

Приготовление свекловичного пюре и его дальнейшая переработка сопровождается механическими, теплообменными и массообменными процессами: перемешиванием,

транспортированием по трубопроводу, дозированием. При реализации указанных процессов происходит изменение структуры пюре, в результате чего его реологические свойства претерпевают значительные изменения, которые могут существенно влиять не только на качество готового изделия, но и на работу оборудования и его энергозатраты.

Кроме того, вопросы интенсификации, автоматизации и оптимизации процесса производства пюре не могут успешно решаться без знаний реологических свойств полуфабриката и закономерностей его реологического поведения.

Для оптимизации условий ферментативной модификации свекловичного пюре был применен экспериментально-статистический подход [2].

В качестве основных факторов выбраны (таблица 1): x_1 – дозировка ферментного препарата, % к массе пюре; x_2 – температура ферментации, °С. Выходным параметром у служила эффективная вязкость свекловичной массы, Па·с. Выбранные факторы совместимы и не коррелируют между собой. Вискозиметрические исследования проводили на вибровискозиметре SV-10.

Т а б л и ц а 1

Характеристики планирования

Условия планирования	Дозировка ферментного препарата x_1 , %	Температура ферментации x_2 , °С
Основной уровень (0)	0,06	65,90
Интервал варьирования	0,03	10,00
Верхний уровень (+1)	0,09	75,90
Нижний уровень (-1)	0,03	55,90
Верхняя «звездная» точка (+1,41)	0,10	80,00
Нижняя «звездная» точка (-1,41)	0,05	55,00

Первый этап заключался в построении регрессионного уравнения, адекватно описывающего зависимость выбранного выходного параметра от изучаемых факторов. Для этого был реализован активный эксперимент по системе центрального композиционного униформ-ротатбельного плана, обеспечивающего полу-

чение одинаковой величины дисперсии выходного параметра для любой точки в пределах изучаемой области. В результате статистической обработки экспериментальных данных получено уравнение регрессии (1), адекватно описывающее зависимость эффективной вязкости свекловичного пюре y от исследуемых факторов:

$$y = 5,83 + 0,26X_1 + 0,72X_2 - 0,2X_1X_2 + 0,03X_1^2 - 0,23X_2^2, \quad (1)$$

где X_i – кодированные значения факторов, связанные с натуральными значениями x_i соотношениями (2):

$$X_1 = \frac{x_1 - 0,06}{0,03}; \quad X_2 = \frac{x_2 - 65,9}{10}. \quad (2)$$

Второй этап заключался в геометрической интерпретации и анализе регрессионного уравнения. Графические интерпретации уравнения (1) в виде поверхности отклика и двумерных сечений представлены на рисунках 1, 2.

Анализ графических зависимостей (рисунки 1, 2) и уравнения регрессии (1) показал, что чувствительность эффективной вязкости свекловичного пюре к изменению температуры ферментации в несколько раз превышает аналогичную чувствительность к изменению дозировки ферментного препарата.

Из этого следует важный вывод: при практической реализации указанных режимов приготовления свекловичного пюре следует обеспечить строгое поддержание температуры ферментации на заданном значении, избегая ее значительных колебаний, которые могут привести к получению пюре с неудовлетворительными реологическими свойствами. К постоянству дозировки ферментного препарата, в свою очередь, могут быть предъявлены менее жесткие требования.

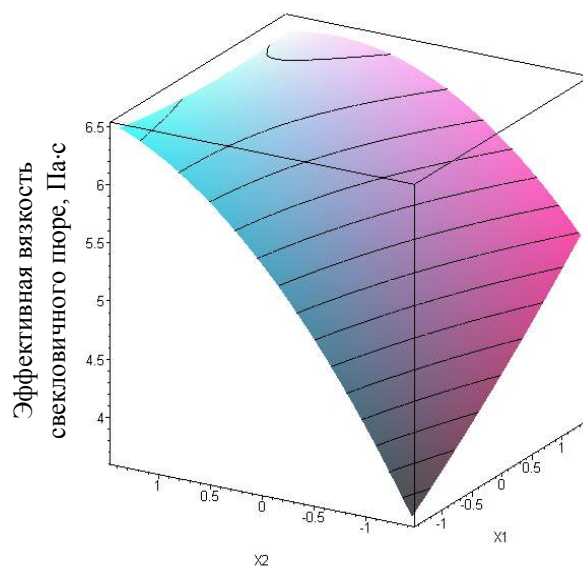


Рисунок 1 - Зависимость эффективной вязкости свекловичного пюре от дозировки ферментного препарата X_1 и температуры ферментации X_2

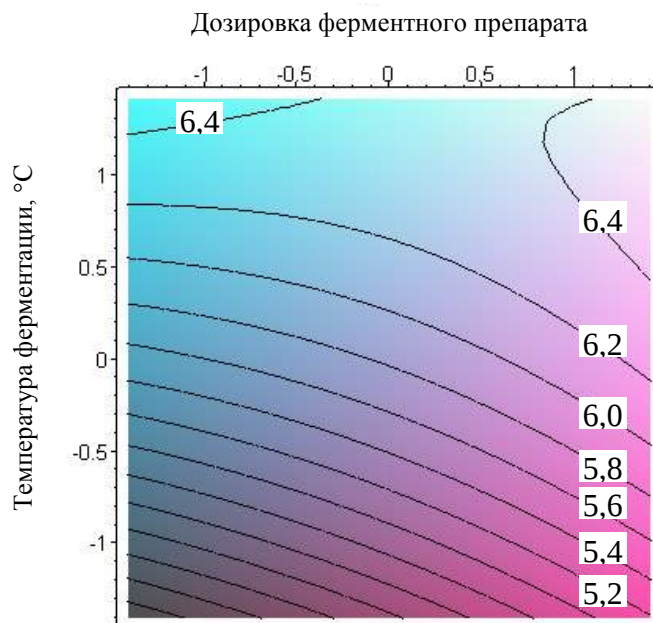


Рисунок 2 - Линии равного уровня эффективной вязкости свекловичного пюре (числа на кривых – значения эффективной вязкости, Па·с)

Третий этап заключался в поиске оптимальных режимов ферментативного гидролиза свекловичного пюре.

Задача оптимизации при этом была сформулирована следующим образом: необходимо найти такие значения независимых переменных X_1 и X_2 , при которых эффективная вязкость свекловичного пюре y достигает ми-

нимального значения. При этом независимые переменные X_1 и X_2 должны находиться в области эксперимента, границы которой определяются значениями факторов в «звездных» точках, т. е. $-1,41 \leq X_i \leq +1,41$.

Для этого запишем условие оптимизации в виде:

$$\begin{cases} y = 5,83 + 0,26X_1 + 0,72X_2 - 0,2X_1X_2 + 0,03X_1^2 - 0,23X_2^2 \rightarrow \min \\ X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 = R^2, \end{cases} \quad (3)$$

в котором последнее уравнение определяет границы области эксперимента (сфера радиусом R) и является ограничением на значения независимых переменных.

Для решения поставленной задачи воспользуемся методом неопределенных множителей Лагранжа. Для этого составим целевую функцию F вида:

$$F = 5,83 + 0,26X_1 + 0,72X_2 - 0,2X_1X_2 + 0,03X_1^2 - 0,23X_2^2 + \lambda(X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 - R^2), \quad (4)$$

где λ – неопределенный множитель Лагранжа.

В соответствии с вычислительным алгоритмом метода неопределенных множителей Лагранжа составим систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial X_1} = 0,26 - 0,2X_2 + 0,06X_1 + 2\lambda X_1 = 0; \\ \frac{\partial F}{\partial X_2} = 0,72 - 0,2X_1 - 0,46X_2 + 2\lambda X_2 = 0; \\ \frac{\partial F}{\partial \lambda} = X_1^2 + X_2^2 - R^2 = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Для решения системы уравнений (5) с последующим вычислением значений функции отклика y воспользуемся интегрирован-

ным пакетом MAPLEW 10. Вычисления проводим при изменении радиуса сферы R в диапазоне от 0 до 1,5 (таблица 2).

Т а б л и ц а 2

Поиск оптимальных параметров

№ шага	R	X_1	X_2	λ	y , Па·с
1	0	0	0	2,913	5,830
2	0,2	-0,067	-0,188	2,177	5,666
3	0,4	-0,134	-0,377	1,221	5,480
4	0,6	-0,2	-0,566	0,902	5,276
5	0,8	-0,266	-0,754	0,742	5,049
6	1,0	-0,331	-0,943	0,646	4,800
7	1,2	-0,397	-1,132	0,583	4,531
8	1,4	-0,460	-1,321	0,537	4,240
9	1,41	-0,465	-1,331	0,535	4,225
10	1,6	-0,527	-1,51	0,503	3,929

Как видно из результатов оптимизации (таблица 2), движение по поверхности отклика от центра к ее периферии сопровождается постепенным уменьшением параметра оптимизации y . Однако оптимальными следует признать условия, полученные на 9 шаге оптимизации, так как в этом случае независимые переменные X_1 и X_2 не выходят за границы области эксперимента, а эффективная вязкость свековичной массы принимает минимальное значение.

Переходя от кодированных значений факторов к натуральным с учетом условий планирования (таблица 1), получим оптимальные значения факторов и параметра оптимизации: дозировка ферментного препарата $x_1 = 0,046$ % к массе пюре; температура фер-

ментации $x_2 = 52,59$ °С; эффективная вязкость свековичного пюре $y = 4,225$ Па·с.

Четвертый этап заключался в экспериментальной проверке оптимальных параметров и оценке степени точности и надежности полученного значения параметра оптимизации.

При оптимальных значениях дозировки ферментного препарата $x_1 = 0,046$ % к массе пюре и температуре ферментации $x_2 = 52,59$ °С были изготовлены образцы свековичного пюре ($n = 10$ шт.), в которых определяли эффективную вязкость. В таблице 3 представлены средние арифметические значения эффективной вязкости y^0 и дисперсии S^2 , полученные по результатам десяти параллельных опытов.

Как видно из таблицы 3, расчетное и экспериментальное значения эффективной вязкости несколько отличаются друг от друга. Для того, чтобы эти различия признать несущественными и объяснить только случайной

ошибкой, была выдвинута нуль-гипотеза о том, что расчетное и экспериментальное значения параметра оптимизации принадлежат к одной и той же генеральной совокупности.

Т а б л и ц а 3

Результаты оптимизации

Значение эффективной вязкости свекловичного пюре, Па·с		Дисперсия S^2	Расчетное значение критерия Стьюдента t_p	Ошибка δ , Па·с	Доверительный интервал эффективной вязкости свекловичного пюре, Па·с
Расчетное y^p	Экспериментальное y^3				
4,225	3,988	0,144	1,98	0,274	3,951÷4,499

Для проверки выдвинутой нуль-гипотезы воспользуемся распределением Стьюдента. При этом вычисляем расчетное значение критерия Стьюдента (таблица 3):

$$t_p = \frac{|y^3 - y^p|}{\sqrt{S^2}} \sqrt{n} \quad (6)$$

Сравнение величины t_p с табличным значением критерия Стьюдента $t_m = 2,29$ (при числе степеней свободы $f = 9$ и принятой доверительной вероятности $\gamma = 95\%$) показывает выполнение условия $t_p < t_m$. Это указывает на то, что выдвинутая нуль-гипотеза может быть принята, т. е. различия между расчетным и экспериментальными значениями эффективной вязкости свекловичного пюре следует признать несущественным (с доверительной вероятностью 95 %) и объяснить только случайной ошибкой. Ошибка предсказания значения параметра оптимизации (таблица 3):

$$\delta = \frac{t_\delta \sqrt{S^2}}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

Результаты вычислений представлены в таблице 3 в виде доверительного интервала $y^\delta \pm \delta$ при принятой доверительной вероятности $\gamma = 95\%$.

Как видно из результатов таблицы 3, значение эффективной вязкости свекловичного пюре не выходит за границы доверительного интервала, полученного расчетным путем, что указывает на достоверность и надежность полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1 Дерканосова, Н.М. Практикум по моделированию и оптимизации потребительских свойств пищевых продуктов [Текст]: учебное пособие / Н.М. Дерканосова, А.А. Журавлев, И.А. Сорокина. – Воронеж: ООО «Главреклама», 2009. – 167 с.

2 Грачев, Ю.П. Математические методы планирования эксперимента [Текст] / Ю.П. Грачев, Ю.М. Плаксин. – М.: ДеЛи принт, 2005. – 296 с.

REFERENCES

1 Derkanosova, N.M. Workshop on modeling and optimization of consumer properties of foods [Text]: a textbook / N.M. Derkanosova, A.A. Zhuravlev, I.A. Sorokina. – Voronezh: LLC "Glavreklama", 2009. - 167 p.

2 Grachev, Y.P. Mathematical methods of experimental design [Text] / Y.P. Grachev, Y.M. Plaxin. – M.: DeLee print, 2005. - 296 p.

Ассистент О.Г. Орехов

(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра продуктов питания животного происхождения, тел. (473) 255-37-51

Обоснование получения натурального клея из костного остатка цыплят-бройлеров

Изучены химический, фракционный, аминокислотный, минеральный составы и дана структурная оценка костного остатка цыплят-бройлеров. Обоснованы условия предварительного и окончательного обезжиривания и обесклеивания сырья при оптимальном значении параметров. Используются современные технические решения. Разработана комплексная технология получения натурального клея и дана сравнительная оценка его качественных показателей. Полученные данные принципиально новы, технологические режимы обоснованы и могут быть использованы на практике.

Article studied chemical, fractional, amino acids, mineral compositions and given the structural assessment of bone residue of broiler chickens. The conditions of the preliminary and final degreasing and allocation of glue raw material under the optimum settings are justified. The modern technical solutions are used. The technology of obtaining natural glue is developed and the relatively insignificant assessment of qualitative indicators is given. The obtained data are principally new, technological modes are justified and can be used in practice.

Ключевые слова: костный остаток, цыплята-бройлеры, механическая сепарация, обезжиривание, обесклеивание, сушка, клей

В настоящее время производство мяса птицы является крупнейшим среди других участников рынка пищевых продуктов. Мясо птицы и продукты его переработки пользуются стабильно высоким потребительским спросом. Значительный потенциал отечественного рынка такой продукции превышает предложение, что является дополнительным стимулирующим фактором развития данного производства.

Выработка мяса птицы в течение последних 5 лет увеличивалась в среднем на 21 % в год. Строительство и модернизация птицефабрик позволили российским участникам рынка не только увеличить выпуск продукции, но и улучшить ее качество [1].

Внедрение прогрессивных методов разделки и обвалки тушек позволяет устранить отрицательное влияние дефектов выращивания, транспортирования и убоя. Наиболее ценные части тушки направляют на выработку полуфабрикатов и готовых изделий; остальные менее ценные в пищевом отношении части с большим содержанием кости (каркасы, спинки, шеи, ноги, крылья), а также тушки с технологическими дефектами – на механическую обвалку [2].

В процессе механической сепарации получают ценное побочное сырье – костный остаток, который представляет собой рассыпчатую

массу или брикеты от светло-розового до темно-красного цвета без постороннего запаха. Химический, морфологический и гранулометрический состав костного остатка зависят от применяемого метода механической дообвалки кости и типа используемого оборудования.

Высокое содержание в костном остатке жира, белка и минеральных солей, а также разнообразный гранулометрический состав указывают на возможность его использования в различных направлениях. Известно использование костного остатка в производстве пищевых добавок из кости, пищевого жира, бульона, кормовой муки, корма для пушных зверей и птицы [1]. Крупные частицы, выделенные из костного остатка, подвергнутого обезжириванию при температуре 100 °С, сушке и полировке, могут быть использованы для получения клеежелатиновой продукции [2].

В процессе технологической обработки тушек в условиях ООО «Белгранкорм» создаются значительные резервы малоценного сырья (каркасы, крылья, шеи), накапливается продукция с теми или иными дефектами. Для их рационального использования в цехе предусмотрена механическая сепарация с использованием пресса SM 4100 французской фирмы АМС. Производительность пресса – 5000-7000 кг/ч, выход мясной массы составляет 65-75 % массы сырья, костного остатка – 25-35 %.

Полученная масса костного остатка состоит из кусочков кости размером до 3 см и небольшого количества мякотных тканей (около 5 %). Как показали измерения, средний размер костного фрагмента исследуемого сырья составляет $146 \pm 49,3$ мкм.

Химический состав костного остатка, определенный по методу [3], зависит от вида перерабатываемого сырья, используемого оборудования, режимов прессования и характеризуется следующими средними данными, приведенными в таблице 1.

Т а б л и ц а 1
Сравнительный анализ
химического состава сырья

Наименование	Массовая доля, %			
	белка	влаги	жира	зола
костный остаток	25,0	45,0	18,9	11,1
мясо птицы механической обвалки	12,6	70,1	15,5	1,5

Установлено, что массовая доля белка в костном остатке составляет 25 %, жира - 18,9 % к массе сырья в сравнении с аналогичными показателями мясной массы 12,6 и 15,5 % соответственно. Фракционный состав белков определяли методом растворимости по методу [3]. При этом преобладающей белковой фракцией оказалась щелочерастворимая (20,3 % масс.).

Суммарное содержание незаменимых аминокислот в костном остатке меньше, чем в мясе птицы механической обвалки за счет содержания большого количества оксипролина

(всего - 17,9 %). Лимитирующими аминокислотами являются лизин и лейцин (аминокислотный скор – 68 и 72 % соответственно). Из заменимых аминокислот заметно выделяются глютаминовая и аспарагиновая кислоты, пролин, аланин и аргинин (2,8, 1,8, 1,9 и 1,8 % к суммарной доле аминокислот соответственно).

Анализ химического состава костного остатка показал наличие значительной доли минеральных веществ (11,1 %), среди которых следует выделить наиболее физиологически значимые: кальция – 3,9 %, фосфора – 2,0 %, железа – 101,8 %, калия – 0,3 %.

Гистоморфологические исследования подтверждают наличие упроченной структуры – костной ткани и дополняют полученные результаты физико-химических исследований костного остатка [4].

Результаты исследования химического, аминокислотного, минерального состава, морфологического строения доказывают возможность переработки костного остатка для производства натурального клея, значительно востребованного в последнее время в проведении ремонтно-строительных работ благодаря своей безопасности и экологичности.

Экспериментальные данные по химическому составу костного остатка свидетельствуют о наличии высокой массовой доли жира (18,9 %), который имеет высокую биологическую ценность и самостоятельное использование. С целью реализации комплексной технологии переработки сырья и получения высококачественного клея на первом этапе проводили обезжиривание сырья классическим способом [5].

Т а б л и ц а 2
Органолептические и физико-химические показатели пищевых бульонов

Наименование	Продолжительность варки, мин				
	60	80	100	120	180
Бульоны					
органолептические показатели (t = 80° C) :					
внешний вид	слегка мутный	мутный	мутный	мутный	Мутный
вкус и запах	приятные, хорошо выраженные	приятные, хорошо выраженные	приятные, хорошо выраженные	приятные, хорошо выраженные	с привкусом осаленности
цвет	серый с желто-оранжевым оттенком	от желтого до светло-серого с желтоватым оттенком	от желтого до светло-серого с желтоватым оттенком	светло серый с желтоватым оттенком	серый
Массовая доля, % к массе бульона					
сухие вещества	4,4	7,3	9,1	11,0	14,0
жир	0,5	0,9	1,1	1,3	1,7
белок	3,4	5,6	7,1	8,6	10,9

Изучено влияние гидромодуля, продолжительности и температурных режимов на качество получаемого бульона (таблица 2). Как показали результаты исследований, при термообработке в течение 80 мин бульоны имеют высокие органолептические показатели. При дальнейшем увеличении продолжительности термообработки отмечается ухудшение органолептических показателей: усиливается мутность, появляется сероватый оттенок, салитый привкус и резкий запах окисленного жира, определенные по методу [3] (рисунок 1). При охлаждении до комнатной температуры бульоны приобретают вид студней различной прочности, не обладающих текучестью при температуре 0–4 °С. Жир, выделившийся из костного остатка сырья, при температуре 20 °С имеет мазеобразную консистенцию, характерные вкус и запах, белый цвет.

В процессе термообработки в бульон переходят основные питательные вещества (рисунок 2). Так, при термообработке в течение 80 мин в бульоне содержится массовая доля: сухих веществ - 7,3 %, белка - 5,7 %, жира - 0,87 %.

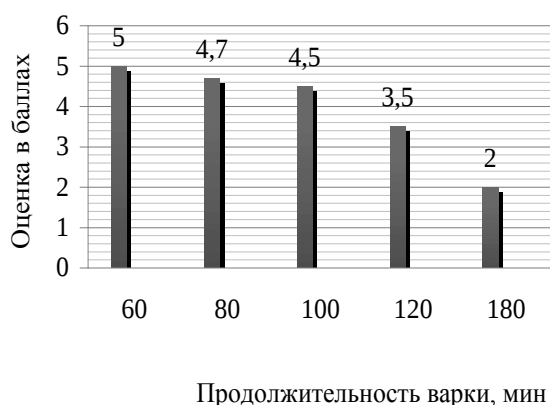


Рисунок 2 – Органолептическая оценка бульонов

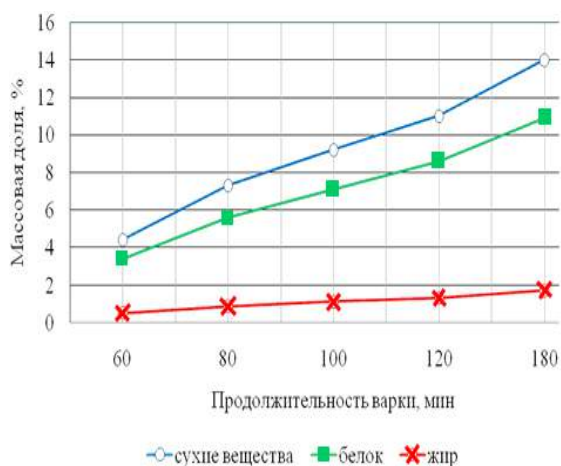


Рисунок 2 – Влияние продолжительности варки на накопление питательных веществ

Увеличение продолжительности варки костного остатка с 100 до 180 мин приводит к дополнительному извлечению из них растворимых веществ в среднем на 25 %. Почти 75 % сухих веществ бульона - это желатин, минеральные и экстрактивные вещества по 6 - 7 %, эмульгированный жир - 12 %.

Эксперименты показали, что лучшие результаты были получены при термообработке костного остатка в течение 80 мин при гидромодуле 1 : 2. Дальнейшее увеличение продолжительности варки хотя и приводит к повышению концентрации сухих веществ в бульоне и степени обезжиривания костного остатка, однако ухудшаются органолептические показатели пищевого бульона.

В процессе тепловой обработки костного остатка в бульон переходит часть сухих веществ, что выражается в частичном обезжиривании сырья (рисунок 3).

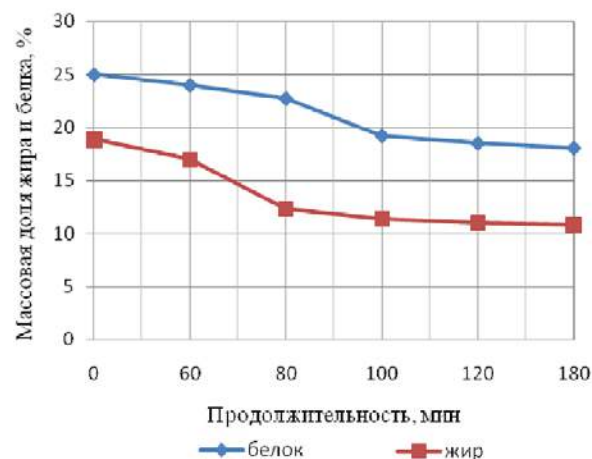


Рисунок 3 – Изменение массовой доли жира и белка при термообработке в костном остатке

Степень обезжиривания костного остатка на момент обработки 80 мин составила 36,5 % при незначительных потерях белка. При продолжительности термообработки в течение 80 мин потери белка составили 6,45 %. Химический состав подтверждает полученные данные: массовая доля жира – 12,3 %, белка – 23,8 %. В процессе обезжиривания уменьшилось суммарное количество аминокислот. Доля незаменимых аминокислот теперь составляла 24 % к общему количеству. Практически отсутствует аминокислота триптофан. Лидирующие позиции остаются за валином, лизином и лейцином.

Для обеспечения качества клея необходимо провести более полное обезжиривание. В традиционной технологии производства клея из кости сельскохозяйственных живот-

ных в качестве органического растворителя применяют химически чистый бензин. Этот растворитель получил широкое применение, так как является менее агрессивным по воздействию на персонал, является наиболее дешевым среди прочих [6].

Обоснованы условия обезжиривания костного остатка цыплят-бройлеров бензином. Экстрагирование проводили в течение 4 ч при разном гидромодуле (рисунок 4). В процессе экстрагирования массовая доля жира с первоначальных значений 12,3 % максимально начала снижаться уже в первые часы обезжиривания и достигла максимального эффекта - 0,8 % в течение 4 ч.



Рисунок 4 – Степень обезжиривания бензином

Дальнейшее проведение процесса нецелесообразно, так как наблюдается незначительное изменение массовой доли жира.

Альтернативным вариантом окончательного обезжиривания является обезжиривание в горячей воде с использованием механического воздействия, а именно, вибрации. Ускорение миграции жира и разрыва оболочек жировых клеток происходит в результате действия инерционных сил и возникающих импульсов разрежения в жидкой фазе.

В результате исследований выявлен характер изменения содержания жира в кости в зависимости от частоты колебаний и продолжительности воздействия.

При увеличении частоты колебаний в два раза остаточное содержание жира уменьшается на 32,7 %. При росте амплитуды колебаний в 4 раза (от 1 до 4 мм) содержание жира в кости возрастает на 23,9 %. Полученные данные позволяют сделать вывод о значительно большем влиянии на процесс обезжиривания частоты колебаний, чем амплитуды (рисунок 5).

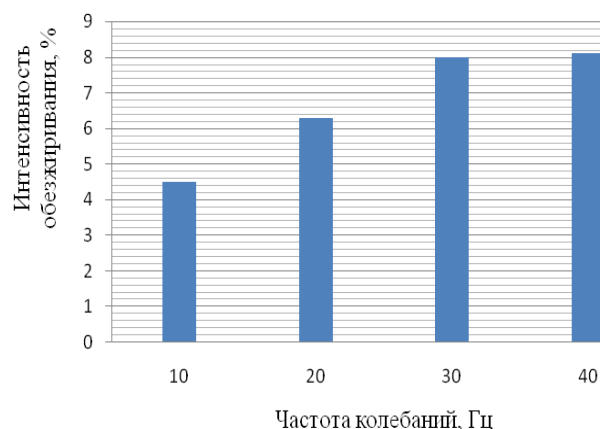


Рисунок 5 - Изменение массовой доли жира в зависимости от частоты колебаний

Для ведения технологического процесса извлечения жира из кости с использованием вибрационных аппаратов в качестве оптимальных были выбраны следующие параметры: частота – 30 Гц, амплитуда 2 – 3 мм, температура воды – 90 °С, продолжительность обработки 15-20 мин.

Для перевода коллагена в растворимую форму – глютин и дальнейшей пептизации изучали процесс обесклеивания костного остатка при температуре 85-90 °С в интервале 0-10 ч по накоплению экстрактивных азотсодержащих веществ и склеивающей способности.

Максимальное количество азотсодержащих веществ накапливается при обработке в течение 6 ч. При этом отмечаются и высокие значения склеивающей способности (9 МПа). Результаты представлены на рисунке 6.

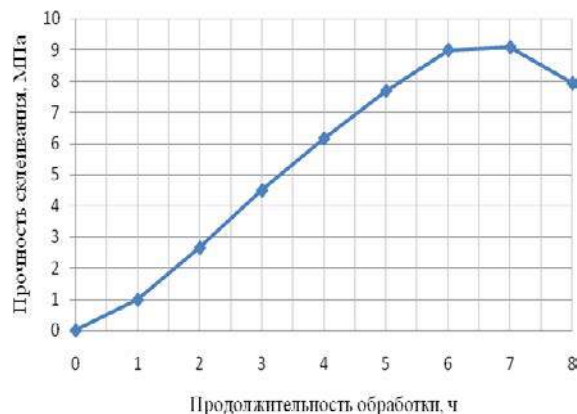


Рисунок 6 - Изменения клеящей способности

Обезвоживание полученного клея придает ему устойчивость к микроорганизмам, делает более транспортабельным.

Сушку клея рекомендуется проводить в два этапа с организацией предварительного концентрирования при температуре 60 °С, давлении 866,5-933,2 кПа до концентрации сухих веществ 40-45 %. Окончательное высушивание проводят в сушилках барабанного типа при температуре 130 °С и давлении 0,3 МПа в течение 50 мин.

По результатам проведенных исследований разработана комплексная технология получения натурального клея, оценка качества которого представлена в таблице 3 в сравнении с промышленным образцом.

Т а б л и ц а 3

Сравнительные показатели качества натурального клея

Наименование показателя	Исследуемый образец	Клей марки К _{2,0}
Внешний вид и цвет клея	Хлопьевидные или порошкообразные частицы светло-желтого цвета с сероватым оттенком	Хлопьевидные или порошкообразные частицы от светло-желтого до светло-коричневого цвета с сероватым оттенком
Массовая доля влаги, %, не более	17	17
Вязкость условная (ВУ), условные градусы, не менее	2,2	2,0
Прочность склеивания древесины, МПа (кг/см ²), не менее	9,0	7,5
Массовая доля общего жира, %, не более	3,0	3,0
Массовая доля золы, %, не более	3,0	3,0
Стойкость раствора клея против загнивания, сут, не менее	4	3
Пенообразование, см ³ , не более	40	50

Разработанная комплексная технология рационального использования костного остатка цыплят-бройлеров способствуют внедрению безотходных способов переработки птицы с полным использованием основных пищевых веществ; расширению ассортимента птицепродуктов, снижению энергоемкости и трудоемкости процесса; увеличению срока хранения продукта и экономической эффективности производства в целом (рентабельность продуктов 20 % и более).

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Кузьминичева, М.Б. Состояние и развитие российского рынка мяса птицы за 2010 г [Текст] / М.Б. Кузьминичева // Мясная индустрия. - 2011. - № 3. - С. 4-7.
- 2 Антипова, Л.В. Технология и оборудование птицеперерабатывающего производства [Текст] / Л.В. Антипова, С.В. Полянских, А.А. Калачев. - СПб.: Гиорд, 2009. - 512 с.
- 3 Антипова, Л.В. Методы исследования мяса [Текст] / Л.В. Антипова, И.А. Глотова. - М.: КолоС, 2004. - 365 с.
- 4 Антипова, Л.В. Обоснование прикладных аспектов рационального использования костного остатка птицы [Текст] / Л.В. Антипова, С.В. Полянских, О.Г. Орехов и др. // Вестник ВГУИТ. - 2013. - № 1. - С. 109-113.
- 5 Мандро, Н.М. Перспектива совершенствования технологических методов переработки мяса цыплят-бройлеров [Текст] / Н.М. Манд-

ро, Ю.Ю. Денисович // Хранение и переработка сельхозсырья. - 2006. - № 10. - С. 41 - 43.

6 Джафаров, А.Ф. Производство желатина [Текст] / А.Ф. Джафаров. - М.: Агропромиздат, 1990. - 287 с.

REFERENCES

- 1 Kuzminicheva, M.V. Status and development of the Russian poultry market for 2010 [Text] / M.V. Kuzminicheva // Meat industry. - 2011. - № 3. - P. 4-7.
- 2 Antipova, L.V. Technology and equipment of production of poultry processing shop [Text] / L.V. Antipova, S.V. Polyanskiy, A.A. Kalachev. - SPb.: Giord, 2009. - 512 p.
- 3 Antipova, L.V. Research methods for meat [Text] / L.V. Antipova, I.A. Glotova. - M.: Kolos, 2004. - 365 p.
- 4 Antipova, L.V. Justification applied aspects of rational use poultry bone residue [Text] / L.V. Antipova, S.V. Polyanskiy, O.G. Orekhov et al // Bulletin of VSUET. - 2013. - № 1. - P. 109-113.
- 5 Mandro, N.M. The prospect of improving the technological methods of chickens-broilers meat processing [Text] / N.M. Mandro, Y.Y. Denisovich // Storage and processing of agricultural products. - 2006. - № 10. - P. 41 - 43.
- 6 Jafarov, A.F. Gelatin production [Text] / A.F. Jafarov. - M.: Agropromizdat, 1990. - 287 p.

Профессор Л.М. Аксенова, М.А. Талейсник,
профессор Т.В. Герасимов
(ГНУ НИИКП Россельхозакадемии)
В.К. Кочетов
(ОАО Кондитерский комбинат «Кубань»)

Получение кислого инвертного сиропа с применением кавитационных способов обработки

Показана эффективность применения кавитационной обработки на примере получения кислого инвертного сиропа.

The efficiency of the cavitation treatment on an example of production of sour invert syrup is shown.

Ключевые слова: акустическая кавитация, гидродинамическая кавитация, моносахара, инвертный сироп.

ГНУ НИИ кондитерской промышленности разработана технология кислого инвертного сиропа взамен существующей технологии, в которой применяется нейтрализация сиропа бикарбонатом натрия. Это обеспечивает повышение количества редуцирующих веществ в кислом инвертном сиропе до 78 – 80 % и дополнительное выделение углекислого газа при выпечке [1].

С целью дальнейшей интенсификации технологического процесса получения кислого инвертного сиропа, разработана новая технология его приготовления в условиях кавитационной обработки.

Экспериментальные исследования проведены в ГНУ НИИКП на лабораторной установке «Сиринкс-250К», разработанной и созданной ООО «Астор-С» (г.Вологда).

Работами института доказана высокая эффективность двухстадийного получения кислого инвертного сиропа путем предварительной подготовки жидкообразной сахарной суспензии с равномерным распределением компонентов и последующей её обработкой в условиях кавитации [2].

В лабораторной установке суспензия с помощью насоса поступает в камеру реактора и проходит через узкий зазор, образованный внутренними его стенками и поверхностью волновода ультразвукового преобразователя. При этом происходит резкое увеличение скорости её движения, заметное снижение давления, частичный разрыв сплошности, и

образование кумулятивных струек с выделением большого количества пульсирующих пузырьков (каверн), т.е. проявляются существенные физические изменения, характерные для гидродинамической кавитации (рисунок 1) [3].

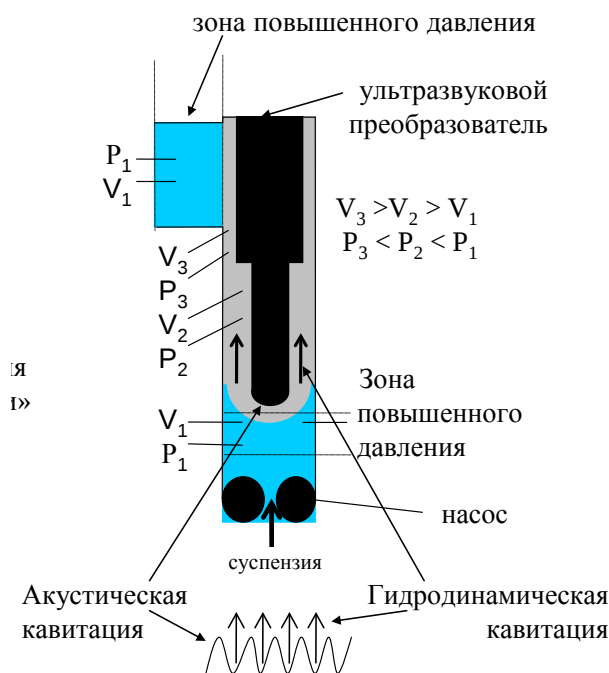


Рисунок 1 – Принципиальная схема кавитационной обработки

Расположенный внутри реактора волновод, излучающий высокочастотные колебания порядка 18-24 кГц, создает условия для возникновения явлений, характерных для акустической кавитации. Обеспечивается дополни-

тельное перемещение частиц твёрдой фазы, дисперсионной среды, и пузырьков газовой фазы в перпендикулярном к движению среды направлении. На полупериоде возникающей волны происходит понижение давления и, как следствие, растягивание частиц твёрдой фазы и резкое увеличение объема пузырьков воздуха. На втором полупериоде волны в условиях значительного повышения давления происходит схлопывание образовавшихся пузырьков газовой фазы с интенсивным выделением тепла и распространением в обрабатываемой среде сферических ударных волн [2].

При получении кислого инвертного сиропа на лабораторной установке в результате

совместного действия акустической и гидродинамической кавитаций создаются оптимальные условия для максимального диспергирования частиц твёрдой фазы до уровня наночастиц и значительного повышения равномерности распределения компонентов

В результате совместного действия гидродинамической и акустической кавитации во взаимно перпендикулярных плоскостях обеспечивается диспергирование до размера наночастиц.

На основании проведенных исследований показана динамика изменения количества редуцирующих веществ в зависимости от технологии получения кислого инвертного сиропа (таблица 1, рисунок 2) [3,4].

Т а б л и ц а 1

Показатели инвертного сиропа полученного по рациональной технологии НИИКП и новой технологии в условиях кавитации

№	Содержание сухих веществ, %		Содержание редуцирующих веществ, %		Температура, °С			Продолжительность процесса, мин
	Рациональная технология НИИКП	Новая технология	Рациональная технология НИИКП	Новая технология	Рациональная технология НИИКП	Новая технология		
1	68,1	78	5,6	62	60	УВАРИВАНИЕ	100	ТЕМПЕРИРОВАНИЕ
2	73,4	79	11,4	73	80		100	
3	73,6	79	33,1	79	88		100	
4	74,26	80	54,2	80	92		100	
5	75,1		61,4		99			
6	75,9		72,4		104			
7	77,1		75,4		106			
8	80,1		79,6		109			

Показано, что в условиях кавитационной обработки продолжительность процесса полу-

чения кислого инвертного сиропа интенсифицируется почти в 2 раза.

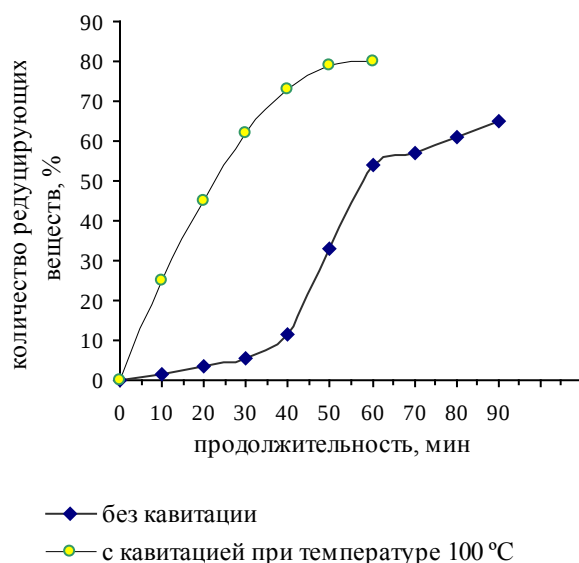


Рисунок 2 - Зависимость количества редуцирующих веществ кислого инвертного сиропа от технологии приготовления

Сравнительная органолептическая оценка исследуемых образцов кислого инвертного сиро-

па, приготовленных по рациональной технологии и новой технологии, показана на рисунке 3.

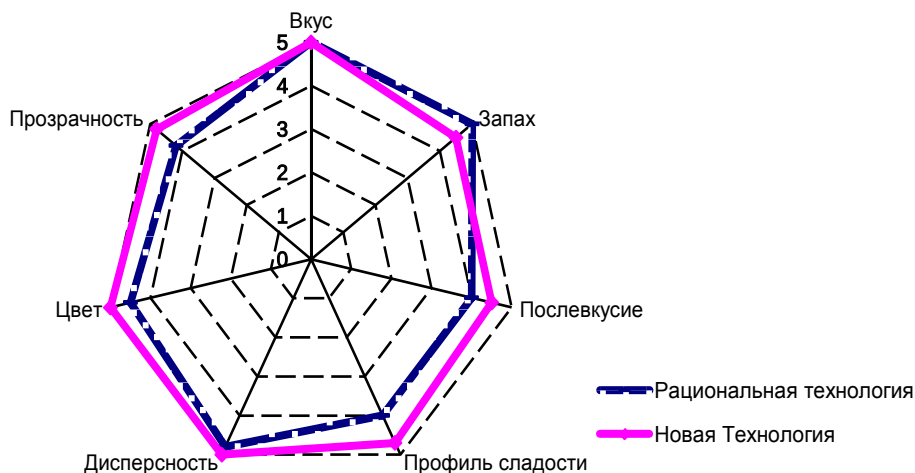


Рисунок 3 - Профилограмма органолептической оценки образцов кислого инвертного сиропа

Органолептическая оценка показала идентичность профиля вкуса исследуемых образцов. При этом кислый инвертный сироп, приготовленный по новой технологии, представляет собой более светлый и прозрачный не замутненный раствор.

Кислый инвертный сироп устойчив в хранении и может использоваться при приготовлении сахарного печенья, сырцовых пряников и других мучных кондитерских изделий [3,4].

Преимуществом новой технологии является отказ от стадии кипячения и поддержание требуемой температуры 95-100 °С, которая обеспечивается за счет выделяемого тепла в процессе кавитационной обработки сахарной суспензии [2,3].

На ООО «Астор-С» (г.Вологда) создана промышленная установка "Сиринкс-4000С", это дало возможность организовать централизованное производство кислого инвертного сиропа, что позволяет значительно повысить санитарно-гигиеническое состояние на производстве кондитерских изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1 Аксенова, Л.М. Развитие технологических систем кондитерской промышленности. Книга1 Мучные кондитерские изделия [Текст] / Л.М. Аксенова. - М.: Пищепромиздат, 2003. - 300 с.

2 Аксенова, Л.М. Теоретические основы технологий приготовления кондитерских полуфабрикатов в условиях кавитационной обработки [Текст] / Л.М. Аксенова, Т.В. Савенкова, М.А. Талейсник и др. // Кондитерское производство. - 2011. - №3. - С. 26-27.

3 Кочетов, В.К. Научно-практические аспекты развития технологий мучных кондитерских изделий [Текст]: автореф. дисс. ... докт. техн. наук / В.К. Кочетов. - Москва, 2012. - 304с.

4 Аксенова, Л. М. Научные основы развития технологий кондитерских изделий. Сборник научных трудов [Текст] / Л.М. Аксенова, Т.В. Савенкова, И.М. Святославова. - М.: Интеллект-Центр, 2013. - 320 с.

REFERENCES

1 Aksenova, L.M. The development of technological systems confectionery industry. Book 1. Pastries [Text] / L.M. Aksenova. - Pishchepromizdat, 2003. - 300 p.

2 Aksenova, L.M. Theoretical foundations of pastry cooking techniques in cavitation treatment [Text] / L.M. Aksenova, T.V. Savenkova, M.A. Taleysnik et al // Confectionery. - 2011. - № 3. - P. 26-27.

3 Kochetov, V.K. Scientific and practical aspects of the technology development of confectionery [Text]: abstr. diss. ... ScD / V.K. Kochetov. - Moscow, 2012. - 304 p.

4 Aksenov, L.M. Scientific basis for the development of technologies confectionery. Collection of scientific papers [Text] / L.M. Aksenova, T.V. Savenkova, I.M. Svyatoslavova. - M.: Intellekt-Center, 2013. - 320 p.

УДК 543.544.344+543.067.5

Доцент Ю.Е. Силина, доцент Б.А. Спиридонов,
студентка М.Ю. Битюцких
(Воронеж. гос. тех. ун-т) кафедра химии, тел. (473) 235-61-01
профессор Т.А. Кучменко
(Воронеж гос. ун-т инж. технол.) кафедра физической и аналитической химии,
тел. (473) 255-07-62

Сорбционное извлечение Cu (II) и Co (II) модифицированным композитом на основе нанопористого оксида алюминия

Обсуждается применение в качестве композита для концентрирования и извлечения тяжелых металлов модифицированного нанопористого оксида алюминия (ПОА). Определены условия синтеза матрицы ПОА, выбран оптимальный поверхностно-активный реагент для ее модификации. Спектрофотометрическими исследованиями установлено, что синтезированный сорбент обладает комплексообразующими свойствами и пригоден для концентрирования металлов из растворов.

The application of modified nanoporous aluminum oxide (PAO) as a composite for concentration and extraction of heavy metals is discussed in the article. There are identified the conditions for the synthesis of PAO matrix, selected the optimum surface-active agent for its modification. Spectrophotometric investigations have shown that the synthesized sorbent has complexing properties and it is suitable for concentration of metals from solutions.

Ключевые слова: нанопористый оксид алюминия, модификация, сорбция, тяжелые металлы.

Поиск простых подходов к получению новых сорбентов как для сорбционного концентрирования микрокомпонентов, так и для хроматографического разделения по-прежнему остается актуальной задачей. Сорбенты на основе оксида алюминия могут стать альтернативой применяемым в настоящее время для разделения и концентрирования неорганических веществ органополимерным и кремнеземным сорбентам. В литературе имеются работы, посвященные модифицированию поверхности оксида алюминия силанами, карбоновыми и фосфоновыми кислотами и их производными, кремнийорганическими соединениями, эфирами, фосфоновыми кислотами [1]. Однако в ряде случаев трудно получить модифицированный носитель с требуемыми свойствами, используя эти реагенты (трудоемкость синтеза модификатора, несовместимость необходимых функциональных групп с якорной группировкой и т.д.) [2, 3].

Кроме того, известно, что простое адсорбционное закрепление не всегда обеспечивает нанесение реагентов, следовательно, контакт с аналитом тест-системы должен быть очень коротким, что допустимо только для газового анализа (тест-полоски). При анализе водных фаз необходимо применение ионногенных гидрофобных ПАВ. Решение проблемы возможно при использовании в качестве модификаторов соединений, содержащих большое количество функциональных группировок, чтобы обеспечить одной из них сцепление с поверхностью матрицы (якорные группировки), а оставшимися группировками – сорбционные свойства системы.

В основном во всех имеющихся работах осуществлялся сложный синтез сорбентов в агрессивных условиях (среды органических растворителей), а полученные сорбенты неустойчивы в водной среде, и, как следствие, применение их в неорганическом анализе весьма затруднительно [4]. Дополнительные сложности обусловлены малой изученностью

процессов химического модифицирования поверхности оксида алюминия. А между тем, поверхность оксида алюминия в отличие от хорошо изученных кремнеземов химически неоднородна: присутствуют как бренстедовские кислотные и основные, так и льюисовские кислотные активные центры, количество которых отличается от его модификации, pH среды, и, как следствие, возможна реализация нескольких схем взаимодействия в системе сорбент-носитель-сорбат с проявлением специфических аналитических эффектов [5, 6].

Можно предположить, что эти эффекты реализуются в матрице нанопористого оксида алюминия (ПОА), преимущества которого перед аналогом состоят в гидролитической стабильности, высокой развитой поверхности (до 500 м²/г), ее фрактальности ($D = 2,43$), регулярной ячеистой структуре, вследствие чего возможно получать подложки практически с 99 % воспроизводимостью структуры.

Цель работы – создание на основе ПОА модифицированных комплексообразующих сорбентов (компози́тов) для концентрирования и извлечения ионов Cu(II) и Co(II) из природных и сточных вод.

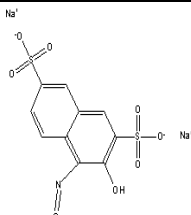
Для формирования матрицы ПОА использовали методику двухстадийного анодного окисления алюминиевой фольги (Al – 94,68 %, Mg – 2,60 %, Mn – 0,47 %, Cu – 0,77 %, O – 1,81 %) в 0,6 М растворе сульфосалициловой кислоты при анодной плотности тока 1 А/дм² и времени электролиза 40 мин [7]. После анодирования фазовый состав пленки менялся: Al – 42,46 %, Mg – 0,58 %, Fe – 0,5%, S – 5,14, O – 51,31 %). Анодирование образцов проводили в стеклянной двухэлектродной электрохимической ячейке с использованием потенциостата П-5827 М в гальваностатическом режиме. Анодом служил алюминиевый образец, катодом – платиновая пластина. Для удаления кислорода с поверхности образцов и равномерного формирования оксидной пленки анодирование проводили при перемешивании. В процессе эксперимента проводили контроль поверхности пленок на СЭМ GSM 63-80LV с последующей обработкой в режиме контактных мод, который позволяет более резко, чем на топологических снимках определять границы зерен элементов структуры.

Исходные растворы ПАВ с концентрацией 0,1 % готовили методом точных навесок. Все градуировочные растворы солей металлов готовили разбавлением исходных с концентрацией

10⁻¹ моль/дм³. Кислотность варьировали с использованием стандарт-титров с pH от 1,65 до 12,2. Значение pH контролировали мультитестом ИПЛ-301 с комбинированным электродом ЭСК-10603 и температурным датчиком. Спектрофотометрические исследования проводили на спектрофотометре СФ-2000-02. Для снятия спектров поглощения модификаторов в ПОА предварительно переводили матрицу в оптически прозрачную форму путем ее выдерживания в растворе CuCl₂. Содержание модификаторов ПАВ и ионов металлов находили по разности между исходной и равновесной концентрацией в водной фазе. Сорбцию проводили в статическом режиме, для чего пластинку ПОА помещали в мерные пробирки с растворами ПАВ и необходимыми значениями pH.

Основное требование, которое предъявляли при выборе модификаторов ПОА – присутствие в их структуре нескольких функциональных группировок, одна из которых должна быть якорной и обеспечивать закрепление ПАВ на поверхности, другая – свободная, функциональная, обуславливающая сорбционные свойства синтезированного композита. Поэтому для модифицирования ПОА применяли многофункциональные органические аналитические реагенты (таблица 1) квалификации не ниже ч.д.а.

Т а б л и ц а 1
Характеристика ПАВ,
применяемых для модификации ПОА

Тривиальное наименование	Аббревиатура	Критерий ГГБ*	Структурная Формула	Растворитель
Нитрозо- R- соль	НР С	36,45		вода
Олеиновая кислота	ОК	1,02	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	хлороформ
Стеариновая кислота	СК	0,25	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH	Диэт. эфир

* - критерий гидрофильно-гидрофобного баланса (ГГБ), который рассчитывали по формуле Гриффина – Дэвиса:

$$ГГБ = 7 + \Sigma(n_c + n_f) \cdot \Delta_i,$$

где n_c – групповое число гидрофобных фрагментов в молекуле; n_f – групповое число полярных фрагментов; Δ_i – число одинаковых фрагментов.

Объекты исследования – ионы Co^{2+} , Cu^{2+} , выбор которых обоснован их наибольшей распространенностью в качестве загрязнителей в природных и питьевых водах, строгими гигиеническими нормативами, регламентирующими их содержание.

Статическую сорбционную емкость (a , мг/г) модифицированных композитов ПОА рассчитывали по уравнению:

$$a = \frac{C_{нач} - C_{конеч}}{m} \cdot V, \quad (1)$$

где $C_{нач}$ и $C_{конеч}$ – исходная и конечная концентрации металла в растворе, мг/л; m – масса пластинки ПОА, г; V – объем раствора, л.

Степень извлечения (R , %) металлов рассчитывали по выражению:

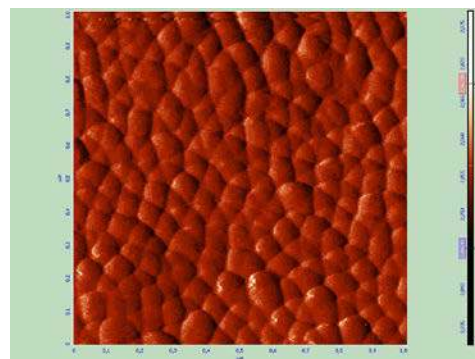
$$R = \frac{C_{исх} - C_{равн}}{C_{исх}} \cdot 100. \quad (2)$$

Проведение двухступенчатого режима анодирования алюминиевой фольги показало формирование наноструктуры в виде треугольников и их объединение в правильные шестигранники, рисунок 1. Использование сканирующего микроскопа позволило увидеть сотовую структуру пленок с $d_{пор} = 40 - 45$ нм, глубиной до 20 мкм.

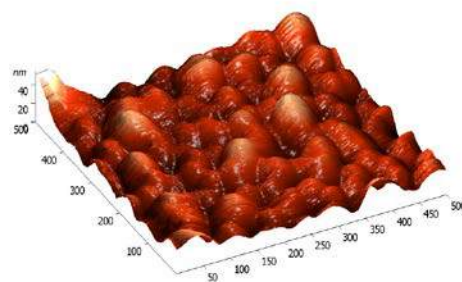
Микрофотография поперечного скола мембраны Al_2O_3 подтверждает, что поры располагаются перпендикулярно плоскости пленки и имеют одинаковый диаметр по всей протяженности. Плотность пор составляет $10^9 - 10^{10}$ пор/ cm^2 , их занимаемая площадь от общей площади оксидной пленки составляет 36 – 40 %, перепад высот пор не превышает 10 – 15 нм. Таким образом, показано, что синтезированные подложки в виду их регулярной, воспроизводимой и пористой структуры могут быть применимы в качестве матриц при формировании нанокompозитов для сорбционного концентрирования металлов.

Полученные матрицы ПОА площадью 1×2 cm^2 выдерживали в течение 120 минут в растворах ПАВ (таблица 1). Установлено, что при равных условиях модифицирования наибольший привес по массе характерен для НРС, что вероятно связано с лучшим закреплением субстантивных веществ с большим ко-

личеством функциональных групп на поверхности и в порах матрицы ПОА, чем для линейных некопланарных молекул. Несмотря на высокую степень гидрофильности ($ГГБ = 36$) десорбция НРС не превышала 7 – 11 % даже в сильноокислых растворах ($pH = 2$). Максимальная сорбция НРС на поверхности ПОА наблюдается при $pH = 3,5 - 5,5$.



а



б

Рисунок 1 – Микрофотографии (3D – изображение) ПОА (а – поверхность; б – профиль).

Изотерма сорбции для этого ПАВ при иммобилизации в ПОА имеет сложный вид и характеризуется двумя плато, что свидетельствует о различных механизмах закрепления реагента, рисунок 2.

На поверхности ПОА имеется три типа центров – льюисовские, бренстедовские кислотные и основные, что обуславливает возможность взаимодействия его поверхности с сорбируемыми соединениями по различным механизмам. Сорбция НРС на ПОА может происходить на льюисовских кислотных центрах по комплексообразовательному механизму с получением катионообменника.

Кроме этого, возможна сорбция за счет специфических взаимодействий гидроксильных групп ПОА с ароматическим кольцом модификатора. НРС содержит две сульфогруппы и является достаточно сильной кислотой,

существует в виде аниона даже в кислых средах. Поскольку на поверхности оксида алюминия в кислых и нейтральных растворах присутствует значительное количество положительно заряженных брэнстедовских кислотных центров, то возможна сорбция реагентов за счет электростатических взаимодействий.

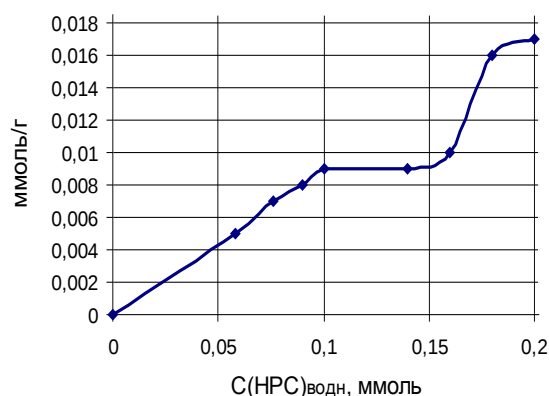


Рисунок 2 – Изотерма сорбции НРС на ПОА.

Спектр поглощения иммобилизованного в пленке ПОА НРС приведен на рисунке 3, из которого видно значительное смещение максимума поглощения в bathochromную область, что связано с взаимодействием среды матрицы с молекулами ПАВ.

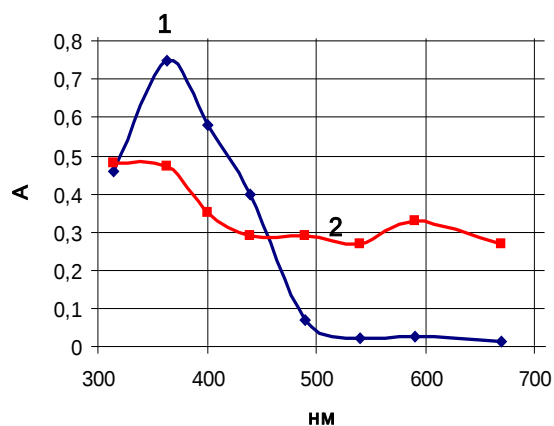


Рисунок 3 – Спектры поглощения НРС в растворе (1) и в матрице ПОА (2).

Оптимальное время иммобилизации НРС в ПОА определили, контролируя поглощение пленки в зависимости от времени ее выдерживания в растворе ПАВ. Установлено, что максимальное развитие окраски модифицированных пленок при погружении в раствор металла наступает через 30 минут, рисунок 4. Дальнейшее увеличение времени выдерживания матрицы в растворе приводит к частичной

десорбции модификатора и образующихся комплексов.

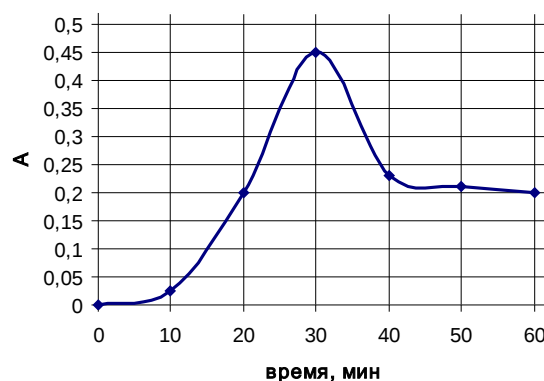


Рисунок 4 – Зависимость поглощения модифицированного ПОА НРС от времени выдерживания матрицы в растворе Cu^{2+} .

Спектрофотометрическими исследованиями установлено смещение максимумов поглощения спектра $\text{Co}(\text{II})$ и НРС с 239, 440 нм (водн) к 394, 507 нм в пленке ПОА, и для комплекса $\text{Cu}(\text{II})$ с 490 нм до 588 нм. Из литературы известно, что с НРС комплекс образуют ионы $\text{Co}(\text{III})$, в которые он может переходить под действием кислорода воздуха уже в каналах матрицы ПОА.

Методом изомольных серий был установлен состав образующихся комплексов: 1:2 для Cu^{2+} и 1:3 для Co^{3+} . Следует отметить, что для нековалентно связанных с матрицей модификаторов определенной закономерности при сопоставлении состава иммобилизованных комплексов и комплексов в растворе не обнаружено: возможна как стабилизация высшего комплекса, так и уменьшение числа координируемых частиц реагента [4].

Характеристика сорбционных свойств композита на основе ПОА по отношению к изучаемым объектам исследования приведена в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

Сравнительная характеристика сорбционных свойств композита на основе ПОА по отношению к Cu^{2+} и Co^{2+}

Носитель	Масса сорбента, г	a по Cu^{2+} , мг/г	R по Cu^{2+} , %	a по Co^{2+} , мг/г	R по Co^{2+} , %
ПОА	0,0056	164,3	92	102,0	89
Ионит (КУ-2)	0,0067	111,9	75	78,0	78
МУНТ*	0,0056	160,1	90	97,3	79
После 30 мин контакта с сорбентом					

*-многослойные углеродные нанотрубки.

Лучший аналитический эффект при извлечении ионов меди связан с образованием более прочного комплекса, устойчивого в кислых средах.

Таким образом, синтезированный композит на основе ПОА, модифицированный НРС, может быть использован при разработке многослойных фильтров с целью извлечения и концентрирования катионов металлов. Однако аналитические возможности ПОА не ограничиваются только лишь сорбционным концентрированием – возможно создание на его основе шаблонных тест-систем для визуального детектирования аналитов, тест-полосок для определения газов и паров в воздухе, оптических рН-сенсоров, перспективно его использование в тонкослойной хроматографии, а также в качестве трафаретов при нанесении пленок сорбентов на пьезоэлементы.

ЛИТЕРАТУРА

1 Золотов, Ю.А. Химические тест-методы анализа [Текст] / Ю.А. Золотов, В.М. Иванов, В.Г. Амелин. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 304 с.

2 Русанова, Т.Ю. Золь-гель материалы с иммобилизованными красителями трифенилметанового ряда как чувствительные элементы оптических сенсоров рН [Текст] / Т.Ю. Русанова, И.А. Левина, С.Н. Штыков // Известия Саратовского университета. Серия Химия. Биология. Экология. Вып. 1. – 2009. – Т. 9. – С. 7 – 12.

3 Мchedlov-Петросян, Н.О. Дифференцирование силы органических кислот в истинных и организованных растворах [Текст] / Н.О. Мchedlov-Петросян. – Х.: Издательство Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина, 2004. – 326 с.

4 Мchedlov-Петросян, Н.О. Ионные равновесия хромофорных реагентов в микроэмульсиях [Текст] / Н.О. Мchedlov-Петросян, Ю.В. Исаенко, Н.В. Саламанова и др. // Журнал аналитической химии. – 2003. – Т. 58. – № 11. – С. 1140 – 1153.

5 Кубышев, С.С. Сорбент на основе оксида алюминия, модифицированного пирока-техиновым фиолетовым [Текст] / С.С. Кубышев, Т.И. Тихомирова, Д.О. Варламова и др. // Вестник Московского университета. Серия 2. Химия. – 2009. – Т. 50. – №2. – С.104-108.

6 Чеботарев, А.Н. Адсорбционное модифицирование ионогенными ПАВ оксидов алюминия с различными кислотно-основными характеристиками [Текст] / А.Н. Чеботарев, Т.М. Щербак, Е.В. Деревянко и др. // Вестник Одесского национального университета. – 2009. – Т. 14. – №12. – С. 139 – 146.

7 Штерн, Ю.И. Технологии получения и исследования пористости оксидных пленок на сплавах [Текст] / Ю.И. Штерн // Журнал неорганический синтез и технологии неорганических производств. – 2007. – С. 546 – 549.

REFERENCES

1 Zolotov, Y.A. Chemical test methods of analysis [Text] / Y.A. Zolotov, V.M. Ivanov, V.G. Amelin. – M.: Editorial URSS, 2002. – 304 p.

2 Rusanova, T.Y. The sol-gel materials with immobilized dyes triphenylmethane series as sensitive elements of optical pH sensors [Text] / T.Y. Rusanova, I.A. Levina, S.N. Shtykov // Proceedings of the Saratov university. Chemistry. Biology. Ecology. Ed. 1. – 2009. – T. 9. – P. 7 - 12.

3 Mchedlov-Petrosyan N.O. Differentiation strength of organic acids in true and organized solutions [Text] / N.O. Mchedlov-Petrosyan. – H.: Publisher of Kharkov National University named after V.N. Karazine, 2004. – 326 p.

4 Mchedlov-Petrosyan, N.O. Ionic equilibrium chromophore reagents in microemulsions [Text] / N.O. Mchedlov-Petrosyan, Y.V. Isayenko, N.V. Salamanova et al // Journal of analytical chemistry. – 2003. – V. 58. – № 11. – P. 1140 - 1153.

5 Kubyshev, S.S. Sorbent based on alumina modified with pyrocatechol violet [Text] / S.S. Kubyshev, T.I. Tikhomirova, D.O. Varlamova et al // Bulletin of Moscow university. Series 2. Chemistry. – 2009. – V. 50. – № 2. – P. 104 -108.

6 Chebotarev, A.N. Adsorption modification of ionic surfactant alumina with various acid-base characteristics [Text] / A.N. Chebotarev, T.M. Shcherbakov, E.V. Derevjanko et al // Bulletin of the Odessa national university. – 2009. – V. 14. – № 12. – P. 139 - 146.

7 Shtern, Y.I. Technologies for production and studies of the porosity of the oxide films on alloys [Text] / Y.I. Stern / Journal of Inorganic synthesis and technology of inorganic productions. – 2007. – P. 546 - 549.

Начальник технического отдела А.В. Ткачев

(ОАО "Воронежсинтезкаучук) технический отдел, тел. (473) 220-67-09

доцент В.А. Седых

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра химии, химической технологии органических веществ и переработки полимеров, тел. (473) 249-92-37

Современные технологии анионной полимеризации мономеров

Сформулированы предпосылки применения в производстве автомобильных покрышек вулканизатов на основе растворных бутадиен-стирольных каучуков с высоким содержанием 1,2 звеньев бутадиена и статистическим распределением стирола. Изложены научные изыскания в области анионной сополимеризации диеновых и винилароматических мономеров. Даны рецептуры каталитических систем применяемых в процессах анионной сополимеризации мономеров. Рассмотрены причины образования геля в процессе анионной полимеризации мономеров и условия их устранения.

The preconditions of use in the manufacture of automobile tyres of vulcanizates-based mortar butadiene-styrene rubber with a high content of 1.2 links butadiene and statistical distribution of styrene are formulated. Set out scientific researches in the field of anionic co-polymerization of diene and vinyl aromatic monomers. Formulation of catalytic systems applied in processes of anionic co-polymerization of monomers are given. The reasons of formation of gel in the process of anionic polymerization of monomers and terms of their elimination are considered.

Ключевые слова: анионная полимеризация, каталитическая система, бутадиен-стирольный каучук, свойства вулканизатов.

В последние годы существенно изменились приоритетные требования, предъявляемые к автомобильным шинам. Возросло значение безопасности езды, экономии топлива, экологической безопасности. Проблемы чистоты воздуха, воды и сохранения природы стали насущными проблемами человечества. Особенно актуально это для жителей больших городов и мегаполисов.

Применительно к шинам на первое место выдвинулись такие требования как высокие сцепные свойства, а, в частности, высокое сцепление с мокрой дорогой, низкие потери на качение, благоприятные экологические характеристики [1]. Кроме того, увеличилась дифференциация по назначению шин [2].

В связи с переменами в автомобильной промышленности требования к автомобилям изменились. На одно из ведущих мест вышли: глобальное потепление, сохранение озонового слоя земли, загрязнение воздушной среды в больших городах, утилизация отходов и другие. В частности стала задача снижения выбросов в атмосферу углекислого газа, образующегося при сжигании топлива, поэтому повышение эффективности использования энергии топлива совершенно необходимо.

Одним из каучуков, обеспечивающих необходимые требования, является «экологически чистый» бутадиен-стирольный каучук растворной полимеризации со средним и высоким содержанием винильных звеньев [3-5].

Развитие производства шин с минимальным сопротивлением качению при сохранении неизменных сопротивлений истиранию и скольжению по мокрой поверхности базируется на оптимальном использовании метода получения растворного бутадиен-стирольного каучука и применения осажденного кремнекислотного наполнителя. Это позволяет добиться значительного уменьшения сопротивления качению при одновременном улучшении сопротивления скольжению по мокрой дороге при тех же параметрах истирания, снизить расход топлива на 5 - 7 %.

Сцепление шин с мокрой дорогой является результатом высокочастотного деформирования скользящей поверхности и в значительной степени определяется гистерезисными свойствами протекторных резин. При торможении шины на дороге в зоне контакта развиваются высокие температуры, по некоторым данным около 100 - 150°C. Отсюда главное направление – снижение теплообразования в протекторных резинах.

Указанная тенденция ведет к использованию вместо классических эмульсионных бутадиенстирольных каучуков (ЭБСК) при изготовлении протектора растворных бутадиен-стирольных каучуков (рБСК) со специальными свойствами.

В последние годы в связи с энергетической ситуацией, которая стала определяющим фактором экономики, экономия топлива является одним из важнейших показателей. Значительная доля, до 7% от общего расхода, топлива легкового автомобиля приходится на сопротивление качению в шинах, причем 60 - 70% из них приходится на протектор [5]. Поэтому исследователями проводятся интенсивные работы по созданию шин с низким сопротивлением качению. При этом условия безопасности движения должны быть сохранены, т.е. протекторные резины должны иметь высокий уровень сцепления с дорожным покрытием [1-4, 6-11].

Известно, что бутадиен-стирольные сополимеры, имеющие повышенное содержание 1,2-звеньев бутадиена придают шинам уникальную комбинацию свойств хорошего сцепления с дорожным покрытием и низким сопротивлением качению. В условиях жесткой эксплуатации теплообразование, а, следовательно, и сопротивление качению у этого каучука оказалось меньше, чем у полимеров с обычной структурой [6, 12-16].

В настоящее время по зарубежным данным растворные бутадиен-стирольные каучуки (ДССК) постепенно стали заменять ЭБСК, и потребление ДССК медленно, но непрерывно возрастает, особенно для изготовления шин с низким сопротивлением качению.

По данным фирмы "Мишлен", которая располагает собственным производством ДССК, шинный сектор составляет основную область применения ДССК. Протекторы шин на основе ДССК обеспечивают превосходное сцепление с дорожным покрытием. При одинаковом наполнении техническим углеродом шины из растворного ДССК обладают более низким сопротивлением качению, что отражается на экономии топлива, так как только один этот фактор составляет 40 % общих потерь энергии, когда шины находятся в движении.

По сравнению с эмульсионным БСК, ДССК проявляет более низкий гистерезис и более высокий модуль и когезионную прочность.

Регулирование содержания винильных звеньев позволяет снижать $\text{tg} \delta$ ДССК, что дает возможность больше наполнять его техническим углеродом и маслом-

пластификатором, не снижая необходимых физико-механических свойств.

По сравнению с другими каучуками ДССК с высоким наполнением техническим углеродом $> 50 \%$ является высокоэкономичным. Более низкое теплообразование в шинах из ДССК является существенным преимуществом по сравнению с другими каучуками и предпочтительно для длительной безопасности пробега даже в условиях пустыни.

Резины на основе ДССК имеют большую скорость вулканизации по сравнению с ЭБСК, что существенно увеличивает производительность оборудования относительно других каучуков в аналогичных условиях. Изделия из ДССК превосходно сохраняют цвет, и даже в суровых условиях эксплуатации окраска не выцветает и не изменяется.

В настоящее время за рубежом производство рБСК непрерывно возрастает.

Основную область применения рБСК составляет шинный сектор. Протекторы шин на основе рБСК обеспечивают превосходное сцепление с дорожным покрытием [1, 17, 18]. При одинаковом наполнении техническим углеродом шины из растворного БСК обладают более низким сопротивлением качению, что отражается на экономии топлива (снижение загрязнения воздушного бассейна продуктами сгорания топлива), так как только этот один фактор составляет около 40 – 60 % по различным литературным источникам общих потерь энергии, когда шины находятся в движении [19-23]. Также низкое теплообразование в шинах из рБСК является существенным преимуществом по сравнению с другими каучуками и предпочтительно для длительного безостановочного пробега.

В связи с вышесказанным, актуальной задачей является получение ДССК с высоким содержанием ($64 \pm 4 \%$) винильных звеньев [17, 18, 23, 24].

Для решения данной проблемы был проведен ряд исследований и поиск каталитической системы, позволяющей получать растворный ДССК с высоким содержанием 1,2-звеньев бутадиена.

Таким образом, возрастающие требования к энергосбережению, безопасности движения автомобильного транспорта, экологии, а также достаточный уровень научных изысканий в области ионной полимеризации мономеров явились предпосылками к созданию технологии получения растворных сополимеров

на основе диенов и винилароматических мономеров со специальными свойствами.

Обширные исследования проведены по полимеризации диенов и винилароматических соединений методом анионной полимеризации. Механизму полимеризации посвящены работы Еросалимского, Короткова и других [23-28].

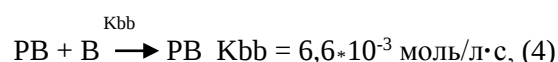
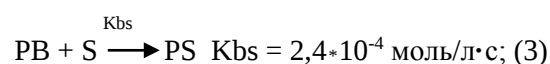
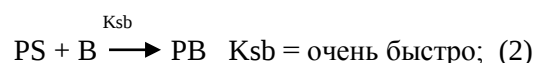
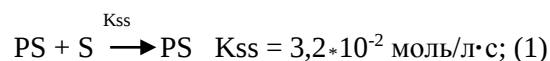
Анионная полимеризация с использованием литийорганических инициаторов по механизму «живых» цепей позволяет получать линейные полимеры с узким ММР и практически с любой заданной молекулярной массой. Наиболее широко изучены закономерности анионной полимеризации в присутствии щелочных металлов и их соединений.

При совместной полимеризации бутадиена и стирола в среде алифатических и ароматических растворителей на литийорганических катализаторах сначала происходит полимеризация бутадиена, а затем, после полного расходования бутадиена, начинается полимеризация стирола [29, 30]. При раздельной полимеризации стирол более активен, чем бутадиен. При сополимеризации бутадиена со стиролом в углеводородной среде под действием литийалкилов (LiR), литийполибутадиеновый активный центр является более стабильным, чем литийполистирольный. Соответственно, более высокая реакционная способность бутадиена при анионо-координационной сополимеризации со стиролом может быть обусловлена большей стабильностью активного центра, образующегося после присоединения бутадиена к концу растущей цепи (литийполибутадиен) по сравнению с активным центром, в котором литий связан со стирольным звеном (литийполистирил).

Известно, что металлоорганические соединения существуют в ассоциированной форме, но активной в реакциях полимеризации является мономерная неассоциированная молекула. Диссоциация $(RMe)_n \rightarrow n RMe$ может осуществляться в одну или несколько стадий: скорость ее зависит от природы Me (щелочной металл), строения R, свойств растворителя. Нет однозначного мнения и о природе мономерного RMe, участвующего в реакции инициирования. Это могут быть ионы, ионные пары или их агрегаты в зависимости от многих факторов [25].

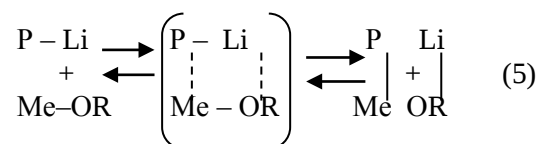
Во многих работах представлены константы сополимеризации бутадиена со стиролом [26, 27, 31, 32] в присутствии литийорганических инициаторов их значения колеблются в широких пределах.

Явление обращения активностей Джонсон и Вольсфорд выявили, исследуя сополимеризацию бутадиена и стирола спектроскопическим методом, определили абсолютные значения констант скоростей четырех перекрестных реакций (1-4):



где PS - полистириллитий; PB - полибутадиенлитий; S - стирол; B - бутадиен; PS и PB представляют собой «живые» полимерные цепи соответственно со стирольными или бутадиеновыми карбонием на концах.

Эффект обращения был объяснен следующим образом. Реакция (2) протекает очень быстро, поэтому при сополимеризации подавляющее количество цепей имеет на концах бутадиеновые карбонии, которые реагируют с бутадиеном со скоростью обычной при гомополимеризации. Они будут медленно реагировать со стиролом (реакция 3), образуя стирольный карбоний (5):



Тем не менее, образовавшись однажды, полистирольный карбоний очень быстро взаимодействует с бутадиеном, вновь образуя полибутадиенлитийный карбоний. Таким образом, на первой стадии сополимеризации не образуется заметной концентрации стироллития, а значит скоростью реакции стирол-полистириллитий можно пренебречь. Такое положение сохраняется пока не исчерпается почти весь бутадиен, тогда скорость может быть изменена из-за взаимодействия стирола, оказавшегося в значительно высокой концентрации с полибутадиенлитием с образованием полистирольного карбония. Скорость поглощения стирола увеличивается до обычной скорости гомополимеризации.

При переходе с углеводородных растворителей на электронодонорные [33] константы сополимеризации бутадиена и стирола заметно сближаются и происходит изменение в составе сополимеров как от количества, так и от типа добавляемого эфира. По источникам [33] тен-

денция к сближению констант сополимеризации возрастает в ряду триэтиламин, диэтиловый эфир, диоксан, тетрагидрофуран (ТГФ). В среде чистого тетрагидрофурана стирол будет более активным, чем бутадиев, т.к. в растворителях с высокой сольватирующей способностью вследствие сольватации противоиона и экранирования его поля, наблюдается типично анионный процесс, при котором активные центры представляют собой ионные пары или свободные карбанионы. С повышением электродонорных свойств растворителя в ряду амин, диэтиловый эфир, тетрагидрофуран возрастает доля винильных 1,2-звеньев бутадиев, т.е. типично анионных структур. В этом же направлении действует переход от полимеризации на LiR к полимеризации на NaR и KR в углеводородных средах [33].

Впервые полимеризацию, инициированную литийалкилом в сочетании с алкоксидами щелочных металлов (ROMe) исследовали Hsieh и Wofford. Они показали, что небольшие добавки бутилатов калия, натрия, рубидия и цезия резко повышает скорость полимеризации бутадиев и стирола, которая зависит от температуры процесса, типа мономера, природы щелочного металла, молярного отношения бутоксида металла:алкиллитий.

Как полагают авторы, в результате реакции алкоксида щелочного металла и алкиллития образуются перекрестные ассоциаты – комплексы, обладающие особыми химическими свойствами, отличающимися от свойств механических смесей компонентов. При этом между металлоуглеродными и металлоокислородными связями должно существовать динамическое таутомерное равновесие, приводящее к совершенно иным центрам роста полимерной цепи, нежели в случае применения одного алкиллития. Добавки алкоксидов щелочных металлов наряду с изменением скорости полимеризации вызывают изменение в микроструктуре полибутадиев, значительно увеличивается (от 6 до 70%) содержание винильных звеньев, которое зависит от температуры полимеризации, типа металла в алкоксиде и соотношения алкоксид металла:алкиллитий.

Более целесообразно сближение констант сополимеризации бутадиев и стирола осуществлять путем введения в реакционную среду ионов Na, Rb или Cs. Алкоксиды щелочных металлов наряду с эфирами, аминами и другими полярными соединениями являются эффективными модификаторами литийорганических инициаторов в случае полимеризации

диеновых мономеров [34, 35] Выявлено существенное влияние алкоксидов щелочных металлов на молекулярные характеристики образующихся полибутадиев. Опубликованные сведения показывают, что предельные значения содержания винильных структур в полимерах при полимеризации диенов в углеводородах и использовании модификаторов полярных соединений (аминов, ТГФ и т.д.) находятся на уровне 40 – 60 % масс. [36, 37].

Соединения типа MeOR, будучи добавленными в небольших количествах к алкиллитию, обеспечивают образование статистического сополимера, при этом структура бутадиевой части меняется незначительно. Отмечено ускорение гомополимеризации стирола и бутадиев в зависимости от увеличения отношения Me/Li, причем это ускорение больше для стирола, чем для бутадиев. Алкоголяты лития не меняют заметно скорости гомополимеризации бутадиев и стирола.

Соединения типа MeOR и литийорганические соединения образуют комплексы, точная стехиометрия которых неизвестна. По утверждению авторов, существует таутомерное динамическое равновесие между связью C-Me и O-Me (5), которое приводит к совершенно другим центрам роста, отличным от одного литийалкила [44].

Протекание процесса непосредственно на четырехцентровом активном комплексе обеспечивает статистическое распределение звеньев вдоль цепи [32, 38].

Несмотря на эффективность инициирующей системы литийорганических соединений с различными рендомизерами и полярными добавками, она имеет ряд недостатков: дефицитность литийорганических соединений, сложность очистки сточных вод от лития, токсичность лития. Последние годы ведутся разработки замены токсичных литийсодержащих систем.

Таким образом, современный уровень научных изысканий в области ионной полимеризации мономеров позволяет регулировать скорость сополимеризации диенов со стиролом и содержание винильных звеньев бутадиев путем изменения полярности растворителя и ионов металлов алкоксидов в рендомизере. В тоже время отсутствуют данные о влиянии состава катализатора и условий синтеза на молекулярно-массовые характеристики, вязкость сополимера и физико-механические показатели вулканизатов на их основе.

С целью получения статистических бутадиев-стирольных сополимеров (ДССК)

рассмотрена обширная патентная информация. Здесь приводится лишь часть способов получения ДССК, отличающихся только каталитической системой, а именно модификатором *n*-бутиллития, которые наиболее близки к каталитической системе, реализуемой в промышленности.

В известных работах детально изучались условия полимеризации бутадиена в присутствии *n*-бутиллития, модифицированного трет-бутилатом натрия в различных растворителях: толуоле, гептане, циклогексане. Однако указанная иницирующая система, имеет недостаток – трет-бутилат натрия не растворим в углеводородах и к использованию в промышленных условиях непригоден.

Известен способ получения диеновых каучуков, характеризующихся хорошим комплексом физико-механических и технологических свойств, использующихся для приготовления шин, полимеризацией сопряженных диенов (бутадиена, изопрена) или их сополимеризацией с винилароматическими мономерами (стиролом, винилтолуолом) при температуре порядка 60°C в углеводородной среде под влиянием металлорганических соединений щелочных или щелочноземельных металлов (бутиллитий, в комбинации с N, N, N', N'-тетраметилэтилендиамина) с добавкой 0,005 – 0,100г на 100г мономеров сшивающего агента (дивинилбензола) с последующим обрывом полимеризации смесью галогенида олова (SnCl₄) и органического соединения, содержащего группу C(=X)N, где X = O или S (например, ароматическим аминоксидом (тио) альдегидом или кетоном). Способ позволяет получать (со)полимеры с высоким содержанием 1,2-звеньев в бутадиеновой части (70 %).

Недостатком этого способа является необходимость поддержания температуры (со)полимеризации не выше 55 - 65 °C для обеспечения высокого содержания 1,2-звеньев в диеновой части, что существенно осложняет отвод тепла реакции, особенно в промышленных аппаратах большого объема и предполагает применение хладагентов с низкими температурами. Для частичного устранения указанного недостатка необходимо снижение концентрации мономеров в растворе. Этот прием приводит к уменьшению выхода (со)полимера, а, следовательно, снижает экономические показатели процесса за счет уменьшения производительности оборудования.

Известен способ получения диеновых полимеров с регулируемым содержанием

1,2-звеньев в диеновой части путем варьирования каталитической системы, применяемой на стадии (со)полимеризации и состоящей из литиевого инициатора (этиллитий, изопропиллитий, *n*-бутиллитий, трет-бутиллитий, фениллитий, 2-нафтиллитий, 4-бутилфениллитий, 4-фенилбутиллитий, циклогексиллитий), алкоксида натрия (формулы NaOR, где R – алкильная группа, содержащая 3-8 атомов углерода (*n*-пентоксид Na)) и полярного модификатора (диэтиловый эфир, ди-*n*-пропиловый эфир, диэтиленгликольдиэтиловый эфир, тетрагидрофуран, диоксан, триэтиленгликольдиметиловый эфир, триметиламин, N, N, N', N' - тетраметилэтилендиамин, N-метилморфолин и алкилтетрагидрофуриновые эфиры) при молярном соотношении алкоксид натрия : полярный модификатор : литиевый инициатор равном 0,5-1,00 : 0,40-3,00 : 1 соответственно, и проведении (со)полимеризации в углеводородном растворителе, представляющем собой одно или более ароматическое парафиновое или циклопарафиновое соединение с 4-10 атомами углерода в молекуле.

Недостатками предложенного способа являются:

использование модификаторов, растворимых в воде, что требует разработки методов очистки сточных вод, т.к. при выделении полимера из раствора водной дегазацией часть полярных модификаторов попадает в сточные воды;

низкий уровень предельно-допустимых концентраций указанных полярных модификаторов, не влияющих на работу очистных сооружений (не выше 0,5 мг/л), что при минимальной дозировке полярного модификатора, предусмотренной в способе, обеспечит его присутствие в сточных водах более 1 мг/л;

невозможность получения заданного количества 1,2-звеньев (45-55 %) в диеновой части полимера при температуре выше 60 °C влечет за собой трудности по отводу теплоты реакции в полимеризационных реакторах и, как следствие, затраты на получение хладагента.

Другой способ получения статистических бутадиен-стирольных каучуков – сополимеризация мономеров в нескольких реакторах в среде углеводородного растворителя в присутствии литийорганического катализатора, например, литийбутила и модифицирующей добавки, в качестве которой используют N, N, N', N' - тетра(калийоксипропил)этилендиамин, при молярном соотношении к литийорганическому катализатору 0,05-2,50 или смесь N, N,

N', N'-тетра(калийоксипропил)этилендиамина с соединением, выбранным из группы, включающей простые эфиры, диметилловый эфир диэтиленгликоля, тетрагидрофуран, тетрагидрофуранфуриллат калия, производные оксипропилированных спиртов в молярном соотношении компонентов смеси из литийорганического катализатора (0,05-2,50) : (0,025-1,000) : 1 соответственно [39].

Данный способ позволяет повысить управляемость и воспроизводимость процесса за счет выравнивания констант сополимеризации мономеров, стабилизировать вязкость по Муни каучука и снизить выход некондиционного каучука, обеспечить образование 1,2-звеньев в структуре диеновой части сополимера, способствующих повышению прочности связи шин с влажной дорогой.

Однако максимальное содержание 1,2-звеньев в диеновой части сополимера, достигаемое при осуществлении процесса полимеризации по данному способу, составляет всего 27,3 %, что не может позволить получить необходимо высокий комплекс свойств бутадиеновых и статистических бутадиен-стирольных каучуков для успешного применения их в производстве шин.

Известен способ получения сополимеров, в частности, сополимеризацией бутадиена и стирола при их массовом соотношении 85-90 : 15-10 соответственно в инертном органическом растворителе в присутствии каталитической системы, представляющей собой продукт взаимодействия н-бутиллития, изопрена и N, N, N', N' - тетра(натрийоксипропил)этилендиамина, взятых в мольном соотношении бутиллитий: N, N, N', N' - тетра(натрийоксипропил)этилендиамин : изопрен 1: (0,07-0,15) : (15-25) соответственно. Причем каталитическую систему получают путем одновременного смешения н-бутиллития, изопрена и N, N, N', N' - тетра(натрийоксипропил)этилендиамина в инертном органическом растворителе и взаимодействия при температуре реакции [40].

Данный способ позволяет получать сополимеры и протекторные резины, которые имеют высокие динамические и усталостные свойства, теплостойкость, сцепление с мокрым дорожным покрытием, низкое сопротивление качению, что обусловлено высоким содержанием 1,2-звеньев в диеновой части (51,5 %). Однако столь высокое содержание 1,2-звеньев в диеновой части достигается при достаточно низкой температуре сополимеризации (30-60°C), что вызывает описанные выше тех-

нологические трудности при поддержании температуры на указанном уровне.

Известен способ получения диеновых (со)полимеров с повышенным содержанием 1,2-звеньев, в частности, бутадиена и стирола с содержанием стирола в сополимере 18-25 % масс. в присутствии катализатора, включающего этиллитий, с последующим введением в реакционную массу мономера(ов) (этилен, бутадиен, изопрен, пиперилен, стирол или смесь бутадиена со стиролом) в молярном соотношении этиллитий (активный литий) : мономер(ы) = 0,25-1,00 : 1,0 и модификаторов : продукта взаимодействия N, N, N', N' - тетраоксизэтилендиамина с дисперсией натрия в молярном соотношении 1 : (4,05-4,10) соответственно при 98-100°C и полярное азотсодержащее соединение триэтиленгептаметилпентамин в молярном соотношении литийорганический инициатор по активному литию : алкоксид натрия по натрию : азотсодержащий модификатор, равном 1 : (0,3-1,0) : (0,3-1,0) соответственно [41].

Предлагаемый способ позволяет получать (со) полимеры бутадиена со стиролом с высоким содержанием 1,2-звеньев со статистическим распределением стирола в полимерной цепи, при температуре полимеризации до 75 °C, то есть обеспечивается высокая производительность.

Недостатком известного способа является то, что при непрерывном способе (со)полимеризации мономеров затруднено выдерживание соотношения литийорганический катализатор : натрийорганический модификатор, в результате чего получается полимер с широким разбросом по содержанию 1,2-звеньев от 32 до 47% вместо 45%.

Наиболее приемлемым способом производства высококачественного каучука по технической сущности является способ получения карбоцепных полимеров с регулируемым содержанием 1,2-звеньев.

В качестве катализатора применяют комплексы общей формулы $Li(R_1)_nR_2R_3OMe$, где R_1 - бутадиенил или изопренил, n - целое число 4÷20; R_2 и R_3 - бутил, Me - натрий или калий, при соотношении Me : R равном 0,05 : 1,5 соответственно.

Недостатки указанного способа:

- используемый для синтеза катализатора бутадиен натрия или бутадиен калия нерастворим в углеводородных растворителях и выпадает в осадок;

- при хранении приготовленного комплекса происходит потеря активности катализатора.

В последнее время фирма "Sasol" рекламирует добавку модификатор н-бутиллития СМХ (гликолевый эфир). Этот продукт разработан на химическом заводе компании "Huels" (Германия) для получения растворного стирол-бутадиенового и 3,4-изопренового каучуков для заводов фирмы "Buna". Модификатор СМХ является сокатализатором н-бутиллития, который применяется для производства гомополимеров и сополимеров бутадиена-изопрена и стирола со статистическим распределением звеньев стирола и содержанием 1,2-звеньев до 70 %.

Однако для получения статистического распределения блоков, наряду с использованием добавки СМХ, фирма "Sasol" рекомендует добавлять в реакционную среду алкоголяты щелочных металлов. К недостаткам применения добавки СМХ относится и то, что для получения высокого содержания винильных звеньев требуется выдерживать молярное соотношение СМХ : н-бутиллитий не менее 5 : 1. Эффективным модификатором н-бутиллития, для получения высоковинильных бутадиен-стирольных сополимеров является олигомерный оксоланилалкан.

Оксоланилалкан позволяет получать полибутадиен с содержанием винильных звеньев до 95 % при температуре полимеризации 5 °С. К недостатку указанного модификатора можно отнести сложность его получения.

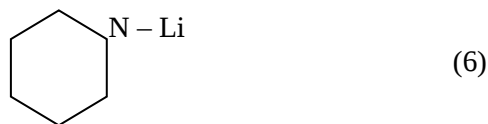
Было найдено, что получать высоковинильные полимеры бутадиена и сополимеров

бутадиена со стиролом с высокой скоростью полимеризации можно на каталитической системе н-бутиллитий + алкоксид натрия в присутствии полярного модификатора, например, тетрагидрофурана. Повышение скорости полимеризации связывается с высокой основностью системы, полученной с алкоксидом натрия и бутиллития.

Полимеры, полученные с указанной каталитической системой, могут быть разветвленными вследствие металлирования главной полимерной цепи основанием, входящим в каталитическую систему.

В настоящее время нашли широкое применение полимеры с функциональными группами. Это объясняется тем, что совместимость наполнителей с растворными бутадиен-стирольными каучуками улучшатся при введении соответствующих функциональных групп на конец полимерной цепи, что в свою очередь приводит к значительному улучшению свойств вулканизатов на основе ДССК.

Авторы осуществили синтез гомогенных инициаторов, углеводородных аминных инициаторов в алифатических растворителях. Для этой цели использовали альдимины и бутиллитий, получая соединения типа (6).



Реакция осуществляется по следующему типу (7):



Полученный инициатор использовался при синтезе растворного бутадиен-стирольного каучука с добавкой модификатора тетраметилэтилендиамина. Были получены растворные БСК со средним содержанием винильных звеньев ($\approx 50\%$). После завершения полимеризации полимер-клей обрабатывается сочетающим агентом четыреххлористым оловом (SnCl_4). Полимер смешивали с техническим углеродом по обычной рецептуре. Вулканизаты имели величину гистерезисных потерь, оцениваемую по $\text{tg}\delta$, при температуре 50°C на 40-50% ниже чем

у иницированного бутиллитием БСК с такой же молекулярной массой.

Содержание связанного каучука с техническим углеродом в вулканизационной смеси составило 32 % (измеренного в виде % масс. содержания каучука в саженепополненной смеси, который остается нерастворимым после выдерживания в толуоле в течение 2 суток при комнатной температуре в условиях покоя), что приблизительно на 50 % выше чем у БСК, полученного в присутствии бутиллития. Под воздействием концевой сшивки с SnCl_4

гистерезисные потери еще снижались, а количество связанного каучука возрастало.

Рассмотрен способ связывания концов полимерной цепи полидиенов галогенированным нитрилом, гетероциклическим ароматическим азотсодержащим соединением или алкилбензоазотом.

Излагается применение фениллитиевого инициатора, а в другом источнике применяется литийорганический инициатор полученный на основе галофенола в углеводородной среде. Но инициаторы на основе фениллития оказались не стабильными.

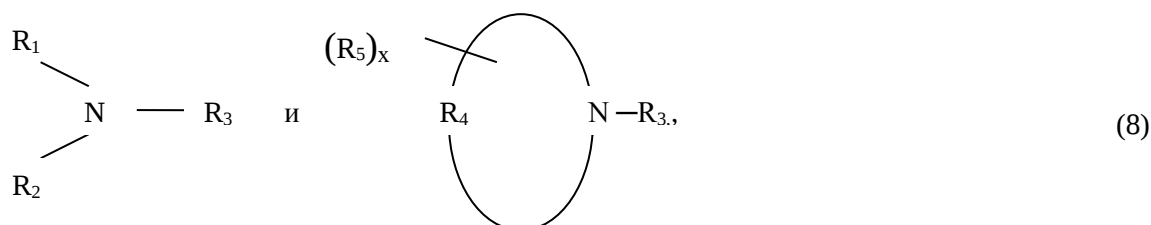
Также в качестве инициаторов использованы аминифункциональные соединения, позволяющие получать полимеры с моно-, ди- пер-

вичными акриламиными концевыми группами, получающимися в результате гидролиза.

Рассмотрены модифицирующие агенты включающие диалкиламинозамещенные ароматические винилсоединения (такие как N, N' - диметиламинбензофенон и н-диметиламино-стирол).

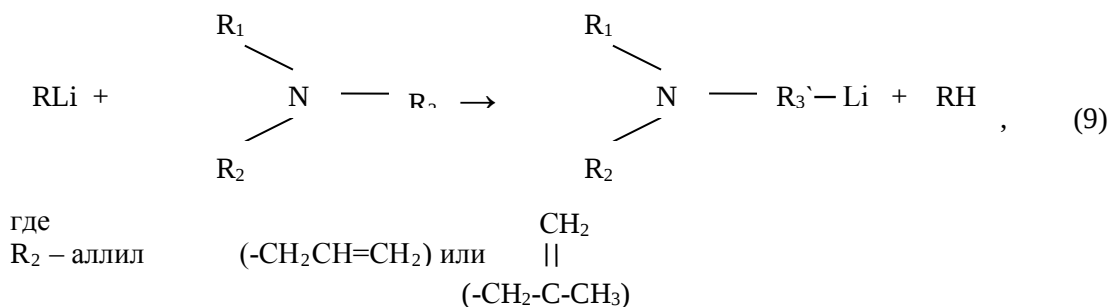
С целью получения диенового полимера содержащего аминогруппу в источнике проводили полимеризацию мономера содержащего аминогруппу 2, N, N' - диметиламиностирол.

Описан способ получения функционализированного инициатора металлизированием литийорганическим соединением третичного аминосоединения общей формулы (8):



где R_1, R_2 – являются одинаковыми или разными и выбираются из группы алкилов, циклоалкилов, алкилов с 1 – 12 атомов углерода, R_3 – группа выбрана из аллила, 2-метилаллила и ксилла, R_4 – карбоциклическая группа с 3 – 20 метиленовыми группами, R_5 – алкил с 1 – 20 атомами углерода, x – число от 0 до 10.

Для получения функционализированного инициатора используют реакцию металлизирования (9):



Примером использования инициаторов являются: гексаметилен – амино-о-ксилиллиций, пирридино-о-ксилиллиций, пиперидино-о-ксилиллиций, гексаметилениминометиллитий, гексаметилениминоаллиллиций. Инициатор в соответствии с данным патентом получали путем добавления к раствору в углеводородном растворителе аллил- или ксилламинного соединения раствора литийорганического соединения и выдерживали при температуре 25-30 °С в течение 24 ч. Процесс металлизирования начинается после добавки небольшого количества полярного растворителя ТГФ в количестве 2-10 моль на 1 моль аминосодержащего соединения и 1-1,4 моль бутиллития. В каче-

стве растворителя можно добавить другие эфиры. Полученный таким способом инициатор используется для получения полимера с полярными группами. С целью повышения содержания винильной структуры при полимеризации диенов добавляют полярную координационную добавку, количество которой зависит от типа полярной добавки, заданного количества винильных звеньев, стирола, температуры полимеризации и выбранного инициатора. В качестве полярной добавки используют ТГФ, линейные и циклические олигомеры оксалонилаканов, например 2,2'-бис(тетрагидрофурурилпропан), диалкил-эфиры, третичные амины и другие соединения.

С целью получения дифункционального полимера используют соединения, дающие концевые функциональные группы например тетрагидрид олова, R_3SnCl , R_2SnCl_2 , $RSnCl_3$, карбадиимиды, N-циклические амиды, изоцианиты, 4,4'-бис(диэтиламино)бензофены и др.

Эти функциональные группы имеют сходство с соединения типа двуокиси кремния или техническому углероду. Полимеры, полученные с использованием указанных инициаторов, позволяют готовить вулканизаты с более низкими гистерезисными потерями, более низким сопротивлением качению. Полимеры могут смешиваться с любыми типами сажи в количестве от 5 до 80 масс. ч. на 100 масс. ч. каучука. В качестве технического углерода могут использоваться марки, которые имеют площадь поверхности не менее 20 м²/г, лучше 35-200 м²/г.

Все работы, посвященные поиску эффективных модификаторов н-бутиллития, направлены на получение каталитических систем, которые бы позволяли получать растворные бутадиен-стирольные каучуки, способные смешиваться с осажденным кремнекислотным наполнителем.

Таким образом, предложены рецептуры иницирующих систем анионной полимеризации диенов со стиролом, позволяющие получать сополимеры со статическим распределением звеньев, высоким уровнем присутствия 1,2-звеньев бутадиена и содержащие функциональные группы на концах макромолекул, совместимые с наполнителем. Предложенные каталитические системы характеризуются присутствием металло-органических соединений с высоким содержанием дорогостоящих элементов, нерастворимых в низкокипящих растворителях или растворимых в воде с низким уровнем ПДК, верхними ограничениями по температуре синтеза, с низким уровнем и высоким разбросом присоединения бутадиена в 1,2-положение.

При получении маслonaполненного каучука ДССК-2545М27 линейной структуры исходный полимер перед маслonaполнением должен иметь высокие молекулярную массу ~300•10³-400•10³ и вязкость по Муни 117-127 усл. ед. Получение полимера с такими характеристиками сопровождается образованием геля в аппаратах в условиях протекания полимеризации по механизму «живых» цепей.

С целью предотвращения гелеобразования необходимо использовать антигелевые добавки, не оказывающие негативного влияния на про-

цесс полимеризации и обеспечивающие высокую молекулярную массу ~300•10³ -400•10³. Такими добавками могут быть вещества, участвующие в реакциях с переносом цепи.

Впервые реакция передачи цепи на растворитель была обнаружена Higginson и Wooding при исследовании гомогенной полимеризации стирола на амиде калия в жидком аммиаке, а также и Robertson и Marion при исследовании гетерогенной полимеризации бутадиена на натрийорганических соединениях в растворе толуола. Затем Bower и Melormik и позже Brooks обнаружили понижение молекулярных масс полимеров по сравнению с рассчитанными из соотношения мономер-инициатор при полимеризации стирола в растворе толуола на натрийорганических соединениях.

По способности передачи цепи растворители расположены в следующем порядке:

толуол > изобутилен > кумол > бензол.

Применительно к полимеризации бутадиена на натрийорганических соединениях они представляют следующий ряд:

толуол > ксилол > гексен > этилбензол > кумол > бензол.

Это подтверждается величиной констант передачи цепи при использовании этих растворителей (таблица 1).

Т а б л и ц а 1

Влияние природы растворителя на константы передачи цепи при полимеризации бутадиена на натрийорганических соединениях

Растворитель	Константа передачи цепи *10 ⁴
Толуол	5,9
Ксилол	4,6
Гексен	2,5
Этилбензол	1,8
Кумол	1,2
Бензол	0,2

В анионной полимеризации большое влияние на скорость и стереоспецифичность оказывает природа щелочного металла в инициаторе (таблица 2).

Т а б л и ц а 2

Влияние природы иона металла ме-дифинилов на константу передачи цепи на толуол

Ион	Константа передачи цепи * 10 ⁴
Li	0,1
Na	5,9
K	13,0

Аналогичные закономерности наблюдаются в реакциях передачи цепи. Отмечено [42], что скорость реакции передачи цепи через толуол при полимеризации диеновых углеводородов резко возрастает при переходе от LiR к KR.

Увеличение константы передачи цепи при использовании в качестве противоиона калия, по мнению Коноваленко Н.А., указывает на то, что полярность связи C-Me играет большую роль в реакциях переноса.

Исследование температурной зависимости реакций передачи цепи показало, что константа передачи уменьшается с понижением температуры (таблица 3).

Т а б л и ц а 3

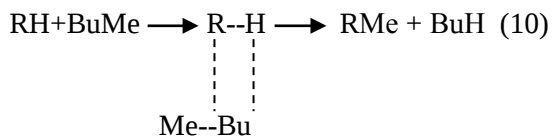
Влияние температуры на константу передачи цепи на толуол с использованием инициатора Na-дифенила

Температура, °C	Константа передачи цепи * 10 ⁴
40	6,7
20	5,9
0	1,9
Минус 30	0,6

Сравнивая анионную реакцию передачи цепи и реакцию металлирования углеводородов посредством органического соединения щелочного металла, обнаружили, что обе реакции имеют один и тот же результат, а именно, образование нового органического соединения щелочного металла вследствие переноса протона. Отсюда следует, что реакцию передачи цепи можно рассматривать как реакцию металлирования.

Этот вывод подтверждается зависимостью констант передачи цепи от природы противоиона, а также последовательностью реакционной способности замещенных ароматических углеводородов.

Механизм металлирования состоит в координации металлирующего агента с C-H-связью (10):



Металлирование ароматических соединений предпочтительно в α-положение боковых цепей.

Исследования степени конверсии на передачу цепи при сополимеризации стирола и бутадиена под действием системы алкилли-

тий – третичный бутилат калия [43], показало, что увеличение конверсии от 50 до 100% приводит к уменьшению молекулярной массы полимера. Реакция передачи цепи и реакция роста цепи являются конкурирующими. С увеличением степени конверсии, концентрация мономеров уменьшается, в то время как концентрация агента передачи цепи – толуола остается практически постоянной. С увеличением степени конверсии должна увеличиваться доля реакций передачи цепи, что приводит к снижению молекулярной массы полимера с конверсией.

Для предотвращения гелеобразования используются алкилбензолы – толуол, ксилол, кумол, изопропилбензол и другие. При наличии алкилбензолов в растворителе и в присутствии активатора переносчика цепи (алкоголяты щелочных металлов) протекает реакция передачи цепи на алкилбензол, и полимеризация идет по нескольким (или множеству) активных центров, обеспечивая заданную молекулярную массу полимера. На этом принципе (реакция с переносом цепи) основан синтез «жидких» каучуков – например, низкомолекулярный полибутадиен получают в толуоле в присутствии н-бутиллития и алкоголята калия при сокращении гелеобразования, т.е. предотвращении получения сверхвысокомолекулярного полимера.

Таким образом, рассмотрены причины, условия, механизм гелеобразования при анионной полимеризации. Приведены полярные добавки и ионы щелочных металлов, влияющие на гелеобразование. При получении рБСК определены температурные границы присоединения бутадиен в 1,2-положение до 50 % и достижения 100 %-ой конверсии мономеров.

Отсюда вытекает, что для предотвращения гелеобразования при получении высокомолекулярных каучуков необходимо использовать различные антигелевые добавки, менять природу иона Me в рендомизере, регулировать температуру сополимеризации.

Тем не менее, в рассмотренных источниках не найдены энергосберегающие и экологичные технические решения по увеличению содержания в сополимере 1,2-звеньев бутадиена до 70 %, расширению молекулярно-массового распределения каучуков, увеличению физико-механических показателей вулканизатов на их основе и закономерности регулирования этих показателей рецептурно-технологическими приемами.

В заключение, исходя из вышеизложенного, возникла необходимость создания энергосберегающей и малоотходной технологии промыш-

ленного получения растворных БСК со статистическим распределением стирола и содержанием бутадиена в 1,2 положении 60-70 % с широким и регулируемым молекулярно-массовым распределением, низкими гистерезисными потерями и высокими физико-механическими показателями вулканизатов на его основе.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Вострокунтов, Е.Г. Переработка каучуков и резиновых смесей (реологические основы, технология оборудования) [Текст] / Е.Г. Вострокунтов. - М.: Химия, 1980. - 280 с.
- 2 Гришин, Б.С. Материалы резиновой промышленности (информационно-аналитическая база данных) [Текст]: монография / Б.С. Гришин. - Казань: КГТУ, 2010. - 488 с.
- 3 Технология резины: рецептуростроение и испытания [Текст] / под ред. Д. С. Дика. - СПб.: Научные основы и технологии, 2010. - 620 с.
- 4 Шакунова, Н.Е. Модификаторы литийорганических катализаторов для бутадиен-стирольных каучуков [Текст] / Н.Е. Шакунова // Каучук и резина. - 1991. - №12. - С. 14.
- 5 Гусев, А.В. Влияние содержания винильных звеньев на свойства статистических бутадиен-стирольных сополимеров с аминными группами на концах цепи [Текст] / А.В. Гусев // Материалы международной конференции по каучуку и резине IRC'04, Москва, 2004. - С. 10-12.
- 6 Джибера, С. Дж., Технология и очерки будущего наших полимеров. Доклад на 38-ом заседании Совета директоров ИИСПП [Текст] / С. Дж. Джибера. - Гудьер Тайр энд Раббер Ко, 1997. - 8 с.
- 7 Куперман, Ф.Е. Состояние и перспективы работ по новым каучукам для шин [Текст] / Ф.Е. Куперман // Производство и использование эластомеров. - 1997. - №10, 11. - С. 5-19.
- 8 Куперман, Ф.Е. Свойства шин, получаемых с применением бутадиен-стирольного каучука с повышенным содержанием бутадиена структуры 1,2 [Текст] / Ф.Е. Куперман // Каучук и резина. - 1994. - №2. - С. 12-14.
- 9 Куперман, Ф.Е. Свойства и применение растворного БСК в шинной промышленности [Текст] / Ф.Е. Куперман. - М.: ЦНИИТ-Энефтехим, 1982. - 60 с.
- 10 Куперман, Ф.Е. Влияние 1,2-звеньев бутадиена в БСК на свойства резин [Текст] / Ф.Е. Куперман // Каучук и резина. - 1994. - №2. - С. 8-12.
- 11 Гусев, А.В. Влияние содержания винильных звеньев на свойства статистических бутадиен-стирольных сополимеров с аминными группами на концах цепи [Текст] / А.В. Гусев р. // Материалы международной конференции по каучуку и резине IRC'04, Москва, 2004. - С. 8-9.
- 12 Васильев, В.А. Производство и рынок синтетических каучуков в Китае [Текст] / В.А. Васильев // Каучук и резина. - 2010. - №2. - С. 5-9.
- 13 Рахматуллин, А.И. Применение анионных каталитических систем в синтезе растворных бутадиен-стирольных каучуков [Текст] / А.И. Рахматуллин // Каучук и резина. - 2010. - №4. - С. 9-11.
- 14 Гусев, А.В. Свойства статистических бутадиен-стирольных сополимеров с различным содержанием 1,2-звеньев [Текст] / А.В. Гусев // Материалы международной конференции по каучуку и резине IRC'04, Москва, 2004. - С. 16-17.
- 15 Хироши, А. Новый растворный БСК для шин, сберегающих топливо. Доклад на 38-ом заседании Совета директоров ИИСПП [Текст] / А. Хироши. - Джапан Синтетик Раббер Ко, 1997. - 14 с.
- 16 Куперман, Ф.Е. Влияние 1,2-синдиотактического полибутадиена на свойства протекторных резин [Текст] / Ф.Е. Куперман // Производство и использование эластомеров. - 2005. - №1. - С. 3-6.
- 17 Ковтуненко, Л.В. Состояние разработки и внедрения полибутадиена и ДССК для шинной и резинотехнической промышленности [Текст] / Л.В. Ковтуненко // Тезисы доклада Первой Российской научно-практической конференции «Сырье и материалы для резиновой промышленности: настоящее и будущее», Москва, 17-21 мая 1993. - С. 146.
- 18 Пат. 2074197 РФ: МПК C08 F 36/06. Способ получения полимеров бутадиена и сополимеров его со стиролом [Текст] / В.С. Глуховской. - Заявл. 14.04.1995; опубл. 27.02.1997.
- 19 Пат. 2228339 РФ, МПК C08 F36/06. Способ получения полимеров бутадиена или сополимеров бутадиена со стиролом [Текст] / В.С. Глуховской. - Заявл. 17.06.2003; опубл. 10.05.2004, Бюл. № 13.
- 20 Рачинский, А.В. «XI век на – «зеленой» шине» [Текст] / А.В. Рачинский // Производство и использование эластомеров. - 2007. - №1. - С. 14-16.

21 Пат. 2151771 РФ: МПК C07 F1/02. Способ получения растворимого в углеводородных растворителях комплекса этиллития с органическим соединением [Текст] / В.С. Глуховской. - Заявл. 14.07.1998; опубл. 27.06.2000, Бюл. №18.

22 Ковтуненко, Л.В. Изучение статистических бутадиенстирольных каучуков [Текст] / Л.В. Ковтуненко // Тезисы докладов восьмой научно-практической конференции «Резиновая промышленность», Москва, 14-18 мая 2001. - С. 60-61.

23 Синтетические каучуки и химикаты для их производства. Обзор продуктов [Текст] / Проспект фирмы Байер, 1998. - 20 с.

24 Ковтуненко, Л.В. Свойства растворных бутадиен-стирольных каучуков типа ДССК [Текст] / Л.В. Ковтуненко // Тезисы докладов научно-технического симпозиума международной выставки «Химия 92», Москва, 15-23 сентября 1992. - М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1992. - С. 14-15.

25 Ерусалимский, Б.А. Процессы анионной полимеризации [Текст] / Б.А. Ерусалимский, С.Г. Любецкий. - Л.: Химия, 1974. - 140 с.

26 Коротков, А.А. Каталитическая полимеризация винильных мономеров [Текст] / А.А. Коротков, А.Ф. Подольский. - Л.: Наука, 1973. - 159 с.

27 Згонник, В.Н. Природа и реакционная способность литийорганических соединений в процессе полимеризации неполярных мономеров [Текст]: автореф. дис. ... докт. хим. наук. - Л.: 1982. - 19 с.

28 Glasse, M.D. Spontaneous termination in living polymers [Text] / M.D. Glasse // Prog. Polim. Sci. - 1983. - №9. - P. 133-195.

29 Догадкин, Б.А. Химия эластомеров [Текст] / Б.А. Догадкин. - М.: Химия, 1972. - 392 с.

30 Синтетический каучук [Текст] / под ред. И.В. Гармонова. - Л.: Химия, 1983. - 560 с.

31 Коноваленко, А.Н. Исследование газофазной и растворной полимеризации углеводородных мономеров под действием щелочноорганических катализаторов [Текст]: автореф. дис. ... канд. хим. наук. - 1991. - 18 с.

32 Долгоплоск, Б.А. Металлоорганический катализ в процессах полимеризации [Текст] / Б.А. Долгоплоск, Е.И. Тинякова - М.: Наука, 1982. - 511 с.

33 Глуховской, В.С. Технология дисперсионной анионной полимеризации стирола и синтез анионных катализаторов [Текст]: автореф. дис. ... канд. хим. наук. - Воронеж, 1986. - 28 с.

34 Ковтуненко, Л.В. Сополимеры бутадиена со стиролом, получаемые методом анионной полимеризации [Текст] / Л.В. Ковтуненко // Производство и использование эластомеров: ИС. - 1991. - №6. - С. 15-18.

35 Ахметов, И.Г. Кинетика полимеризации и молекулярные характеристики литиевого полибутадиена влияние концентрации модификатора [Текст] / И.Г. Ахметов // Каучук и резина. - 2010. - №4. - С. 2-5.

36 Пат. 2142474 РФ: МПК C08 F136/06. Способ получения низкомолекулярного 1,2-полибутадиена [Текст] / В.И. Аксенов. - Заявл. 20.05.1998; опубл. 10.12.1999.

37 Пат. 2192435 РФ: МПК C08 F136/06. Способ получения пластифицированного низковязкого полибутадиена [Текст] / В.И. Аксенов. - Заявл. 13.12.2000; опубл. 10.11.2002.

38 Кустов, Л.М. "Green Chemistry"-новое мышление [Текст] / Л.М. Кустов, И.П. Белецкая // Российский химический журнал. - 2004. - №6. - С. 3-7.

39 Пат. №2073023 РФ: МПК C08 F236/10. Способ получения статистических бутадиенстирольных каучуков [Текст] / Г.Т. Щербань. - Заявл. 23.11.1994; опубл. 10.02.1997, Бюл. №4.

40 Пат. №2124529 РФ: МПК C08 F236/08. Способ получения сополимеров диенов (варианты) [Текст] / Н.А. Коноваленко. - Заявл. 27.03.1996; опубл. 10.01.1999, Бюл. № 1.

41 Пат. 2175329 РФ: МПК C 08 F 36/04. Способ получения диеновых (со)полимеров с повышенным содержанием 1,2-звеньев [Текст] / В.С. Глуховской. - Заявл. 25.01.2001, опубл. 27.10.2001, Бюл. №30.

42 Пат. 2382792 РФ: МПК C08 F36/06. Способ получения модифицирующей добавки литийорганического соединения и способ получения полибутадиена и сополимеров бутадиена со стиролом [Текст] / В.С. Глуховской. - Заявл. 09.01.2008; опубл. 27.02.2010, Бюл. № 6.

43 Кирчевская, И.Ю. Новые способы получения и применения высокомолекулярных соединений и латексов [Текст] / И.Ю. Кирчевская, Н.П. Полуэктова. - М.: ЦНИНефтехим. - 78 с.

REFERENCES

1 Vostrokuntov, E.G. Processing of rubber and rubber compounds (rheology fundamentals , technology equipment) [Text] / E.G. Vostrokuntov. - М.: Himiya, 1980. - 280 p.

- 2 Grishin, B.S. Materials of rubber industry (information-analytical database) [Text]: monograph / B.S. Grishin. - Kazan: Kazan State Technical University, 2010. - 488 p.
- 3 Technology rubbers : retsepturostroenie and testing [Text] / ed. D.S. Dick. - SPb.: Nauchnye osnovy i tehnologiya, 2010. - 620 p.
- 4 Shakunova, N.E. Modifiers lithium- organic catalysts for styrene-butadiene rubber [Text] / N.E. Shakunova // Rubber. - 1991. - № 12. - P. 14.
- 5 Gusev, A.V. Effect on the content of vinyl units statistical properties butadiene styrene copolymers with amino groups at the chain ends [Text] / A.V. Gusev // Proceedings of the International Conference on Rubber IRC `04, Moscow, 2004. - P. 10-12.
- 6 Dzhibera, S.J. Technology and sketches the future of our polymers. Paper presented at the 38th meeting of the Board of Directors IISRP [Text] / C.J. Dzhibera. - Goodyear Tire and Rubber Co., 1997. - 8.
- 7 Cooperman, F.E. Status and prospects of work on the new rubber for tires [Text] / F.E. Cooperman // Production and use of elastomers. - 1997. - № 10, 11. - P. 5-19.
- 8 Cooperman, F.E. Properties tire obtained using a styrene-butadiene rubber with a high content of 1,2 -butadiene structure [Text] / F.E. Cooperman // Rubber. - 1994. - № 2. - P. 12-14.
- 9 Cooperman, F.E. Properties and application of SBR mortar in the tire industry [Text] / F.E. Cooperman. - M.: CSRITeneftchim, 1982. - 60 p.
- 10 Cooperman, F.E. Effect of 1,2- butadiene in the BSC on the properties of rubber [Text] / F.E. Cooperman // Rubber. - 1994. - № 2. - P. 8-12.
- 11 Gusev, A.V. Effect on the content of vinyl units statistical properties butadiene styrene copolymers with amino groups at the chain ends [Text] / A.V. Gusev // Proceedings of the International Conference on Rubber and rubber IRC `04, Moscow, 2004. - P. 8-9.
- 12 Vasiliev, V.A. Production and Market of synthetic rubber in China [Text] / V.A. Vasiliev // Rubber. - 2010. - № 2. - P. 5-9.
- 13 Rakhmatulin, A.I. The use of anionic catalyst systems for the synthesis of mortar- butadiene- styrene rubber [Text] / A.I. Rahmatullin // Rubber. - 2010. - № 4. - P. 9-11.
- 14 Gusev, A.V. Statistical Properties of styrene butadiene copolymers with different contents of 1,2 -polybutadiene [Text] / A.V. Gusev // Proceedings of the International Conference on Rubber and rubber IRC `04, Moscow, 2004. - P. 16-17.
- 15 Hiroshi, A. New BSK mortar for tires, saving fuel. Paper presented at the 38th meeting of the Board of Directors IISRP [Text] / A. Hiroshi. - Dzhapan Synthetic Rubber Co., 1997. - 14 p.
- 16 Cooperman, F.E. Effect of 1,2- syndiotactic polybutadiene rubber tread on the properties [Text] / F.E. Cooperman // Production and use of elastomers. - 2005. - № 1. - P. 3-6.
- 17 Kovtutenko, L.V. State of development and implementation of polybutadiene and SBR for the tire and rubber industry [Text] / L.V. Kovtunencko // Abstracts of the First Russian scientific- practical conference " Raw materials for the rubber industry: Present and Future", Moscow, 17-21 May 1993. - P. 146.
- 18 Pat. 2074197 RF: IPC C08 F 36 / 06. A method for producing polymers and copolymers of butadiene with styrene [Text] / V.S. Glukhovskoy. - Appl . 14.04.1995, publ. 27.02.1997.
- 19 Pat. 2228339 RF IPC C08 F36/06. A method for producing polymers or copolymers of butadiene and styrene butadiene [Text] / V.S. Glukhovskoy. - Appl. 17.06.2003, publ. 10.05.2004, Bull. № 13.
- 20 Raczynski, A.V. "In the eleventh century - 'green ' bus ' [Text] / A.V. Raczynski // Production and use of elastomers. - 2007. - № 1. - P. 14-16.
- 21 Pat . 2151771 RF: IPC C07 F1/02. The method for producing soluble in hydrocarbon solvents ethyllithium complex with an organic compound [Text] / V.S. Glukhovskoy. - Appl. 14.07.1998 , publ. 27.06.2000, Bull. № 18.
- 22 Kovtunencko, L.V The study of statistical styrene-butadiene rubber [Text] / L.V. Kovtunencko // Proceedings of the Eighth Scientific Conference "Rubber Industry", Moscow, 14-18 May 2001. - P. 60-61.
- 23 Synthetic rubber and chemicals for their production. Product Overview [Text] / Avenue Bayer, 1998. - 20 p.
- 24 Kovtunencko, L.V. Mortar properties of styrene-butadiene rubber SBR-type [Text] / L.V. Kovtunencko // Abstracts of the Scientific and Technical Symposium of the international exhibition "Chemistry 92", Moscow, 15-23 September 1992. - M.: CSRITeneftchim, 1992. - P. 14-15.
- 25 Erusalimskiy, B.A. The processes of anion - polymerisation [Text] / B.A. Erusalimskiy, S.G. Lyubetsky. - L : Himiya, 1974. - 140 p.
- 26 Korotkov, A.A. The catalytic polymerization of vinyl monomers [Text] / A.A. Korotkov, A.F. Podolsky. - L.: Nauka, 1973. -159 p.

27 Zgonnik, V.N. Nature and the reaction is completely organolithium compounds in the polymerization of polar monomers [Text]: abstr. dis. ... ScD. - L.: 1982. - 19 p.

28 Glasse, M.D. Spontaneous termination in living polymers [Text] / M.D. Glasse // Prog. Polim. Sci. - 1983. - № 9. - P. 133-195.

29 Dogadkin, B.A. Chemistry elastomers [Text] / B.A. Dogadkin. - M.: Chemistry, 1972. - 392 p.

30 Synthetic rubber [Text] / ed. I.V. Garmov. - L.: Chemistry, 1983. - 560 p.

31 Konovalenko, A.N. Investigation of gas-phase and solution polymerization of hydrocarbon monomers under the influence schelochnoorganicheskikh catalysts [Text]: abstr. dis. ... PhD. - 1991. - 18 p.

32 Dolgoplosk, B.A. Organometallic catalysis in polymerization processes [Text] / B.A. Dolgoplosk, E.I. Tinyakova. - M.: Nauka, 1982. - 511 p.

33 Glukhovskoy, V.S. The technology of the dispersion of anionic polymerization of styrene and synthesis of anionic catalysts [Text]: abstr. dis. ... PhD. - Voronezh, 1986. - 28 p.

34 Kovtunenکو, L.V. Copolymers of butadiene with styrene, obtained by anionic polymerization [Text] / L.V. Kovtunenکو // Production and use of elastomers: IP. - 1991. - № 6. - P. 15-18.

35 Akhmetov, I.G. Kinetics of polymerization and the molecular characteristics of lithium polybutadiene impact modifier concentration [Text] / I.G. Akhmetov // Rubber. - 2010. - № 4. - P. 2-5.

36 Pat. 2142474 RF: IPC C08 F136/06. A process for preparing low molecular weight 1,2-polybutadiene [Text] / V.I. Aksenov. - Appl. 20.05.1998, publ. 10.12.1999.

37 Pat. 2192435 RF: IPC C08 F136/06. A method for producing plasticized low-viscosity polybutadiene [Text] / V.I. Aksenov. - Appl. 13.12.2000, publ. 10.11.2002.

38 Kustov, L.M. "Green Chemistry" - a new way of thinking [Text] / L.M. Kustov, I.P. Beletskaya // Russian Journal of Chemistry. - 2004. - № 6. - P. 3-7.

39 Pat. 2073023 RF: IPC C08 F236/10. A method for producing statistical butadiene rubbers [Text] / G.T. Scherban. - Appl. 23.11.1994, publ. 10.02.1997, Bull. № 4.

40 Pat. Number 2124529 RF: IPC C08 F236/08. A process for preparing copolymers of dienes (variants) [Text] / NA Konovalenko. - Appl. 27.03.1996, publ. 10.01.1999, Bull. Number 1.

41 Pat. 2175329 RF: IPC C08 F36/04. A method for producing diene (co) polymers with a high content of 1,2-polybutadiene [Text] / V.S. Glukhovskoy. - Appl. 25.01.2001, publ. 27.10.2001, Bull. № 30.

42 Pat. 2382792 RF: IPC C08 F36/06. A method for producing a modifying additive and organolithium method for producing polybutadiene and copolymers of butadiene with styrene [Text] / V.S. Glukhovskoy. - Appl. 09.01.2008, publ. 27.02.2010, Bull. №6.

43 Kirchevskaya, I.Y. New ways of obtaining and use of polymers and latexes [Text] / I.Y. Kirchevskaya, N.P. Poluektova. - M.: CSRNeftehim. - 78 p.

УДК 678.762.2

Аспирант Х.В. КорнехоТуэрос, профессор С.С. Никулин
(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра инженерной экологии и техногенной безопасности, тел. (473) 249-60-24

Н.С. Никулина

(Воронеж. инст. ГПС МЧС России) кафедра пожарной безопасности технологических процессов

доцент Т.Н. Пояркова

(Воронеж. гос. ун-т.) кафедра ВМС и коллоидов

Влияние дозировки четвертичных солей аммония на молекулярную массу каучуков в выделяемых фракциях

В работе рассмотрено влияние расхода четвертичных солей аммония на молекулярную массу выделяемых каучуковых фракций и показано, что она не зависит от расхода коагулирующих агентов.

The influence of flow of quaternary ammonium salts on the molecular weight fractions allocate drubber is considered and it is shown that molecular weight does not depend on the flow of coagulating agents.

Ключевые слова: четвертичные соли аммония, коагуляция, молекулярная масса, расход коагулирующих агентов.

Производство полимеров, получаемых в эмульсии, продолжает активно развиваться. Интерес к данному способу производства базируется в первую очередь на отсутствии пожаро- и взрывоопасных органических растворителей, используемых при растворной полимеризации и сополимеризации диеновых углеводородов. К достоинствам полимеризации в эмульсии можно также отнести сравнительно низкое тепловыделение на единицу объема реакционной массы, улучшающее условия теплосъема и способствующее увеличению текучести получаемого продукта. Кроме того, обеспечивается достаточная легкость в управлении процессом для получения каучука с требуемым комплексом свойств и изготовления стандартного продукта [1]. Эмульсионная полимеризация чрезвычайно сложный химический процесс, механизм и закономерности которого определяются совокупностью многих факторов. Это, прежде всего, природа мономеров, природа и концентрация эмульгатора и инициатора, температура, pH среды и т.д. От этих факторов зависят зарождения частиц, место протекания элементарных реакций и кинетические закономерности процесса. В связи с этим отсутствует единая теория эмульсионной полимеризации, описывающая все многообразные случаи различного сочетания перечисленных факторов.

Известно, что латексные частицы, образующиеся при эмульсионной полимеризации, полидисперсны [1]. Поэтому можно предположить, что они содержат в своем составе макромолекулы, различающиеся значениями своих молекулярных масс. Таким образом, в одних латексных частицах могут содержаться преимущественно макромолекулы с невысокими значениями средних молекулярных масс, в то время как в других – с более высокими. Следовательно, можно предположить, что разные латексные глобулы будут обладать различной устойчивостью к действию коагулирующих агентов, т.е. их агрегативная устойчивость может быть различной. Поэтому для их коагуляции может требоваться различное количество солевых коагулирующих агентов, необходимых для полного выделения каучука из латекса.

Как известно [2], молекулярная масса полимера и его молекулярно-массовое распределение (ММР) являются одними из важнейших показателей, характеризующих свойства полимерных материалов. В настоящих исследованиях была проведена оценка молекулярной массы полимера, полученного при коагуляции бутадиен-стирольного латекса в присутствии следующих коагулирующих агентов: N,N-диметил-N,N-диаллиламмонийхлорид (ДМДААХ) и поли-N,N-диметил-N,N-диаллиламмонийхлорид (ПДМДААХ) при их различных расходах. Рас-

смотрение данного вопроса имеет важное научное и прикладное значение. Анализ литературных данных указывает на отсутствие описания аналогичных исследований как в России, так и за рубежом.

Известно [1], что в современных технологиях имеются аспекты, которые до настоящего времени изучены недостаточно хорошо. К ним относится влияние удельного расхода коагулирующего агента на молекулярную массу каучука в выделяемых каучуковых фракциях, свойства которых заметно меняются в зависимости от этого параметра. Это связано с использованием новых технологий и коагулирующих агентов при производстве полимеров, получаемых эмульсионным способом [3]. Тогда как влияние удельного расхода различных видов коагулирующих агентов на процесс выделения каучука из латекса хорошо описан в ряде источников, вопрос о влиянии дозировки коагулирующего агента на молекулярную массу каучуков, содержащихся в выделяемой фракции, остается открытым.

Цель работы – изучение влияния дозировки четвертичных солей аммония на молекулярную массу каучуков, содержащихся в выделяемых фракциях.

Процесс коагуляции промышленного латекса проводили согласно методике, описанной в работе [4]. В емкость, помещенную в термостат, загружали латекс бутадиенстирольного каучука СКС-30 АРК (сухой остаток 18,7 % масс.), термостатировали при температуре 60 °С в течение 10-15 минут и совмещали при постоянном перемешивании с определенными количествами водных растворов катионных электролитов. В качестве коагулянтов использованы водные растворы ДМДААХ (сухой остаток 2,7 % масс.) и ПДМДААХ (сухой остаток 1,7 % масс.).

После введения коагулянта смесь перемешивали в течение одной минуты, после чего вводили подкисляющий агент (~ 2,0 % масс.) – водный раствор серной кислоты в расчете ~ 12 кг/т каучука. Образовавшуюся крошку каучука отделяли от серума, промывали водой и сушили при ~ 80 °С.

Среднюю молекулярную массу полимера определяли методом гель-проникающей хроматографии на приборе ВЭЖХ.

Анализ экспериментальных данных показал, во-первых, что полнота выделения каучука из латекса достигается в случае применения ДМДААХ при расходе ~25 кг/т каучука, а ПДМДААХ – 3,0-3,5 кг/т каучука (таблица 1).

Т а б л и ц а 1

Влияние расхода четвертичной соли аммония на полноту выделения каучука из латекса СКС-30 АРК

Наименование	Расход ДМДААХ / ПДМДААХ, кг/т каучука			
	15,0 1,0	20,0 2,0	25,0 2,5	30,0 3,0
Выход крошки каучука, % мас., при температуре коагуляции, °С :				
20	<u>33,6</u> 59,1	<u>67,4</u> 82,9	<u>91,1</u> 90,5	<u>94,0</u> 93,4
60	<u>32,1</u> 57,7	<u>52,5</u> 83,3	<u>87,3</u> 88,2	<u>93,1</u> 95,0

Т а б л и ц а 2

Влияние расхода четвертичной соли аммония на молекулярно-массовые характеристики каучука в выделяемых фракциях

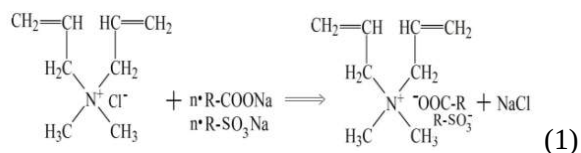
Молекулярно-массовые характеристики каучука в выделяемых фракциях	Расход ПДМДААХ / ДМДААХ, кг/т каучук			
	0,5 5,0	1,0 15,0	2,0 20,0	3,0 30,0
M _n	<u>62900</u> 61200	<u>64400</u> 65200	<u>67100</u> 68100	<u>67300</u> 69600
M _w	<u>241900</u> 226500	<u>254500</u> 263100	<u>253300</u> 137700	<u>154200</u> 253800
M _w / M _n	<u>3,85</u> 3,70	<u>3,95</u> 4,03	<u>3,77</u> 2,02	<u>2,29</u> 3,65

Во-вторых, проведенными исследованиями установлено (таблица 2), что молекулярная масса каучуков в выделяемых

фракциях мало зависит от расхода коагулирующих агентов. Хотя при этом можно отметить тенденцию к небольшому её возрастанию с увеличением расхода коагулирующих агентов. Однако это увеличение незначительно (не более 10 %) и находится в пределах ошибки опыта. Следовательно, на основе полученных экспериментальных данных можно сделать вывод, что не оказывает доминирующего влияния использование в качестве коагулирующих агентов как низкомолекулярных, так и высокомолекулярных четвертичных солей аммония на агрегативную устойчивость латексных частиц.

В ионизированном состоянии соли аммония взаимодействуют с анионактивными

поверхностно-активными веществами (ПАВ), выполняющими роль эмульгаторов латекса с образованием нерастворимых комплексов [5], что приводит к нарушению агрегативной устойчивости латекса согласно механизму нейтрализационной коагуляции:



В случае применения полимерного катионного электролита эффективность коагулирующего действия дополнительно повышается за счет проявления мостикобразования между частицами, что подтверждается данными таблицы 1.

Таким образом делаем вывод, что при проведении коагуляции латекса СКС-30 АРК четвертичными солями аммония их расход не оказывает существенного влияния на молекулярную массу каучуков в выделяемых фракциях.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Аверко-Антонович, Л.А. Химия и технология синтетического каучука [Текст] / Л.А. Аверко-Антонович, Ю.О. Аверко-Антонович, И.М. Давлетбаева. – М.: Химия, КолоСС, 2008.
- 2 Семчиков, Ю.Д. Высокомолекулярные соединения [Текст] / Ю.Д. Семчиков. – М.: Академия, 2003.
- 3 Распопов, И.В. Совершенствование оборудования и технологии выделения бутадиен-(α -метил) стирольных каучуков из латексов

[Текст] / И.В. Распопов, С.С. Никулин, А.П. Гаршин и др. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1997.

4 Пояркова, Т.Н. Практикум по коллоидной химии латексов [Текст] / Т.Н. Пояркова, С.С. Никулин, И.Н. Пугачева и др. – М.: Издательский дом «Академия естествознания», 2011.

5 Вережников, В.Н. Выделение эмульсионного полибутадиена из латекса полиэлектролитом ВПК-402 [Текст] / В.Н. Вережников, С.С. Никулин, Т.Н. Пояркова и др. // Журнал прикладной химии. - 2000. – Т. 73. - № 5. - С. 565-569.

REFERENCES

- 1 Averko-Antonovich, L.A. Chemistry and technology of synthetic rubber [Text] / L.A. Averko-Antonovich, Y.O. Averko-Antonovich, I.M. Davletbaeva. - M.: Himiya, ColoSS, 2008.
- 2 Semchikov, Y.D. High molecular weight compounds [Text] / Y.D. Semchikov. – M.: Academia, 2003.
- 3 Raspopov, I.V. Improved equipment and technology selection butadiene-(α -methyl) styrene rubber from latex [Text] / I.V. Raspopov, S.S. Nikulin, A.P. Garschin et al. - M.: CSRITEneftehim, 1997.
- 4 Poyarkova, T.N. Workshop on latex colloid chemistry [Text] / T.N. Poyarkova, S.S. Nikulin, I.N. Pugacheva et al. - M.: Publishing house "Academiya estestvoznaniya", 2011.
- 5 Verezhnikov, V.N. Isolation of polybutadiene latex emulsion polyelectrolyte MIC-402 [Text] / V.N. Verezhnikov, S.S. Nikulin, T.N. Poyarkova et al // Journal of applied chemistry. - 2000. – V. 73. - № 5. - P. 565-569.

УДК 637.07

Доцент Н.Н. Попова

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра сервисных технологий,
тел. (473) 255-37-72

профессор Т.А. Кучменко, студент А.Ю. Левченко

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра физической и аналитической химии,
тел. (473) 255-07-62.

Изучение формирования запаха рыбных рубленых полуфабрикатов при обогащении их полиненасыщенными жирными кислотами с применением пьезосорбционного «электронного носа»

Изучено влияние летучих соединений - источников полиненасыщенных жирных кислот различного происхождения, на формирование запаха рыбных рубленых полуфабрикатов с применением пьезосорбционного «электронного носа».

The influence of volatile compounds of polyunsaturated fatty acids sources of different origins on the odor formation of fish semis with the use of piezosorption "electronic nose" was studied.

Ключевые слова: «электронный нос», полиненасыщенные жирные кислоты, рыбные полуфабрикаты, запах, прогноз.

Аналитические возможности современных газовых, жидкостных хроматографов, масс-спектрометров позволяют получать достаточно полную, разнообразную информацию о качественном и количественном составе даже наиболее нестабильных объектов – пищевых систем. Однако такие исследования дорогостоящие, требуют больших затрат времени и не применяются, как правило, для рутинного анализа. Поэтому приоритетным направлением в аналитическом приборостроении становится разработка и применение более простых, экономически целесообразных и экспрессных газоанализаторов, например, таких как «электронный нос». В пищевой промышленности подобные приборы широко эксплуатируются не только для обнаружения фальсификатов или определения качества продуктов питания, но и для технологического контроля на различных этапах производства, а также для оптимизации ингредиентного состава или прогнозирования формирования запаха нового продукта при внесении в него различных добавок [1-4].

Предпосылки для создания продуктов питания не ограничиваются только расширением ассортимента, но и связаны, прежде всего, с недостаточным потреблением с пищей

несинтезируемых организмом человека компонентов. Для придания продуктам функциональных свойств применимо обогащение их на стадии производства эссенциальными веществами путем включения в традиционные рецептуры новых ингредиентов, в частности, содержащих полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК).

Полиненасыщенные жирные кислоты, представленные ω -3 и ω -6 кислотами, характеризуются широким спектром действия на различные системы организма: регулируют работу сердца и сосудов; служат источником энергии; являются строительным материалом клеток, в том числе, клеток мозга; участвуют в образовании гормонов и усиливают их действие; укрепляют иммунитет; предотвращают онкологические заболевания; влияют на многие другие процессы в организме [5-7].

Основные источники ПНЖК среди продуктов питания – это льняное, каноловое, соевое масло, семена льна, ядра грецких орехов, рыба и морепродукты, соевые бобы, тофу, темно-зеленые листовые овощи, пророщенная пшеница и др. В качестве обогащаемых продуктов выбраны, характеризующиеся высоким потребительским спросом, рыбные рубленые полуфабрикаты (котлеты). Готовый продукт практически не содержит ω -3 и ω -6 жирных кислот, поскольку при их изготовлении основным сырьем является рыба нежирных сортов.

Цель исследования – изучение влияния легколетучих соединений растительного и животного сырья, содержащего ПНЖК, на формирование запаха рыбных рубленых полуфабрикатов с применением пьезосорбционного «электронного носа».

Для достижения поставленной цели поэтапно оптимизировали условия оценки запаха источников ПНЖК, выбранных для обогащения ими рыбных рубленых полуфабрикатов; формировали селективные к основным легколетучим компонентам пленки газовых сенсоров; изучали сорбцию легколетучих соединений равновесной газовой фазы над тест-веществами, источниками ПНЖК, рыбными полуфабрикатами без добавок.

В качестве объектов исследования выбраны льняное масло, семена льна, грецкий орех, жир рыбий и мясо мяты – в качестве основного сырья.

Для оценки качественного и количественного состава равновесной газовой фазы над объектами исследования (РГФ_{о.и.}) – компонентами сырья и готовыми изделиями – применяли пьезосорбционный электронный нос «МАГ-8», разработанный как универсальный газоанализатор, позволяющей качественно (по форме «визуального отпечатка») и количественно (по площади «визуального отпечатка») определять и характеризовать различные типы запахов по сигналам массива сенсоров.

Пьезоэлектрические сенсоры получали путем нанесения на электроды пьезокварцевых резонаторов (ПКР) пленок модификаторов, при выборе которых руководствовались составом равновесных газовых фаз над объектами исследования. Особый интерес представляют вещества-маркеры порчи, в том числе, кислоты, амины, альдегиды, кетоны. Модификаторы подбирали в зависимости от их сорбционного сродства к определяемым компонентам. Из стандартных хроматографических фаз выбраны: полиэтиленгликоль-2000 (ПЭГ 2000), поливинилпирролидон (ПВП), триоктилфосфиноксид (ТОФО), дициклогексан-18-краун-6 (ДЦГ-18-К-6), октилполиэтоксифенол (ТХ-100), динонилфталат (ДНФ). Также в качестве модификаторов выбраны химические соединения, не являющиеся хроматографическими фазами – бромтимоловый синий (БТС), пчелиный клей (ПЧК).

Поскольку хроматографические критерии селективности сорбентов не всегда согласуются с результатами, полученными методом

пьезокварцевого микровзвешивания, то для всех изученных пленок оценивали массовую чувствительность сенсоров к легколетучим соединениям, формирующим запах исследуемых объектов (S_m , Гц·дм³/мг).

Выбор модификаторов электродов ПКР осуществляли, руководствуясь данными о составе легколетучих компонентов, формирующих запах объектов исследования. Так, грецкие орехи содержат эфирные масла, дубильные вещества, стероиды, фенолкарбоновые кислоты, кумарин [7]; рыбий жир и рыба – в незначительном количестве уксусную, масляную, валиериановую, каприновую кислоты, стероидные спирты, воду, а также азотистые производные: аммиак, триметиламин, бутиламин [8]; семена льна и льняное масло – органические кислоты, ацетон [9]. Помимо типовых компонентов учитывали наличие микропримесей – газов-маркеров, которые несут важную аналитическую информацию. В качестве газов-маркеров выбраны пары воды, бутанола, этанола, метилпропионата, этилацетата, ацетона, а также пары РГФ над растворами уксусной, масляной кислот с $\omega = 0,002\%$ об. и аммиака с $\omega = 1\%$ об.

Эффективность взаимодействия в системах «РГФ_{о.и.} – пленка модификатора» оценивали по величине максимальных ($\Delta F_{\max}$, Гц) откликов сенсоров; особенности кинетики взаимодействия – по виду хроночастотограмм ($\Delta F_i = f(\tau, c)$).

Исследования проводили в идентичных условиях: продолжительность экспонирования сенсоров в РГФ_{о.и.} – 40 с, режим фиксирования откликов сенсоров – равномерный с шагом 1 с.

Для изучения сорбции РГФ над источниками ПНЖК семена льна и грецкий орех измельчали, рыбу пропускали через мясорубку. Подготовленное сырье массой 1 г, льняное масло и рыбий жир объемом 1 см³ переносили в стеклянные герметичные бюксы. Выдерживали их в течение 15 мин для насыщения газовой фазы легколетучими компонентами. Для каждого вещества готовили по аналогичной схеме три пробы. Применяли 2 режима пробоподготовки: термостатирование проб при $20 \pm 2^\circ\text{C}$ и $40 \pm 2^\circ\text{C}$.

Отбор РГФ над образцами проводили методом дискретной газовой экстракции в объем 3 см³, используя для каждой пробы индивидуальный пробоотборник.

В идентичных условиях изучено взаимодействие компонентов РГФ над тест-

веществами с тонкими пленками модификаторов. Получены зависимости изменения откликов сенсоров во времени – хроночастотограммы (рисунок 1), иллюстрирующие развитие сорбционного процесса во времени $\Delta F = f(\tau)$. Такой вид хроночастотограмм свидетельствует о высокой скорости сорбции паров анализируемых соединений на пленках модификаторов, а также физическом взаимодействии между сорбатом и сорбентом на поверхности раздела двух фаз. При достижении максимального аналитического сигнала (через 5 – 15 с от момента ввода анализируемой пробы в ячейку детектирования) в системе начинается процесс самопроизвольной десорбции (рисунок 1, а) или наступает динамическое равновесие (рисунок 1, б). т.е. сорбция тест-веществ на пленках модификаторов носит различный характер.

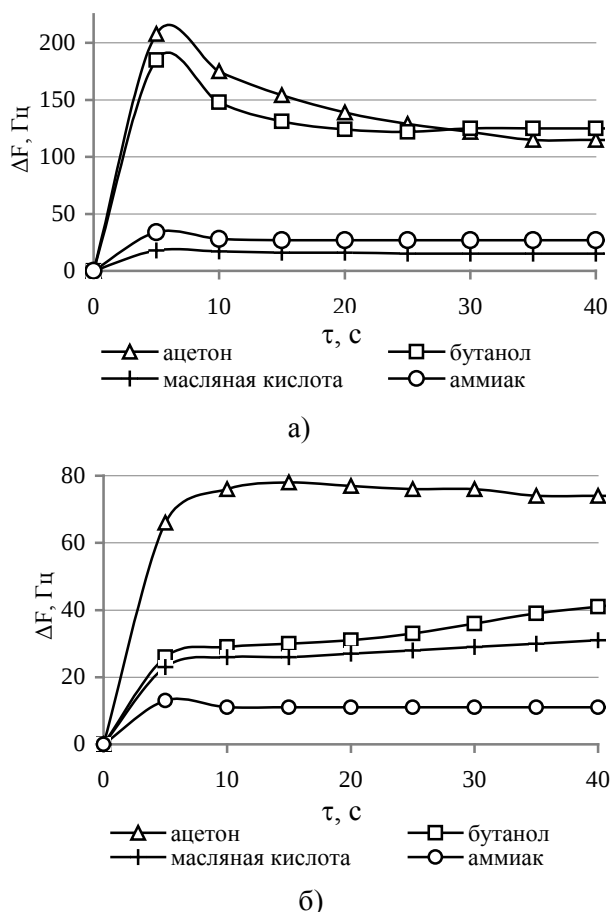


Рисунок 1– Хроночастотограммы откликов сенсоров с пленками ДЦГ-18-К-6 (а) и ТОФО (б) в парах тест-веществ

Специфичность модификаторов к тест-веществам оценивали по массовой чувствительности пьезосенсоров к каждому из веществ (таблица 1).

Т а б л и ц а 1

Массовая чувствительность некоторых сенсоров к парам тест-веществ (S_m , Гц·дм³/мг)

Тест-вещества	ДЦГ-18-К-6	ТХ-100	ПВП	ПЭГ 2000
Уксусная кислота	170	68,1	254,0	68,1
Муравьиная кислота	77,5	27,5	92,6	28,8
Вода	11,9	9,4	39,2	6,4
Этилацетат	4,3	2,4	3,9	3,6
Ацетон	0,3	0,4	0,4	0,3
Этанол	1,0	1,4	3,8	1,4
Бутанол	3,7	7,9	12,1	2,6
Аммиак	6,2	4,4	4,9	2,6

Установлено, что пленку ДЦГ-18-К-6 целесообразно применять для детектирования паров спиртов, кетонов, кислот. Их чувствительности различаются в сотни раз, что свидетельствует о селективности пленки к перечисленным группам соединений. Аналогично оценивали возможность детектирования тест-веществ другими сенсорами. Так, по сигналу сенсора с пленкой ПчК детектируются ацетон и метилпропионат; с пленкой ТОФО – аммиак; с пленкой ПЭГ-2000 – этилацетат, ацетон, спирты; с пленкой БТС – этилацетат; с пленкой ДНФ – этанол, уксусная и масляная кислоты, метилпропионат, этилацетат, ацетон; с пленкой ПВП – этанол, масляная кислота, этилацетат и ацетон.

По результатам проведенных исследований в матрицу включены семь сенсоров. Аналитическим сигналом матрицы сенсоров является многомерный набор данных, представленный в виде «визуальных отпечатков», по которым можно сделать вывод о качественном и количественном содержании компонентов тест-веществ и их гомологов в легколетучей фракции РГФ над тестируемыми образцами.

Для объективной оценки влияния легколетучих компонентов РГФ над источниками ПНЖК на формирование запаха готовых рыбных полуфабрикатов исследовали динамику его изменения при нагревании. Установлено

(рисунок 2), что геометрические формы «визуальных отпечатков» сигналов сенсоров в РГФ над холодными и горячими пробами подобны, а площадь фигур увеличивается, что отражает усиление интенсивности запаха вследствие обогащения РГФ легколетучими органическими соединениями.

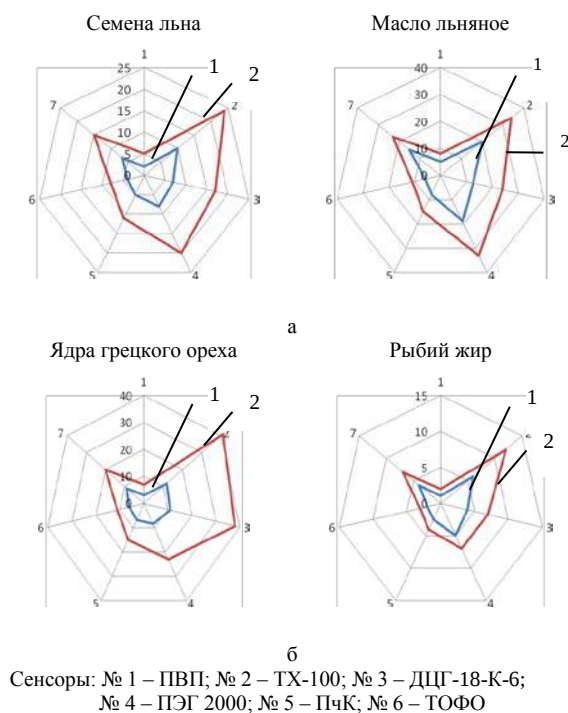


Рисунок 2 – «Визуальные отпечатки» максимальных сигналов сенсоров в парах РГФ над холодными (а) и горячими (б) пробами источников ПНЖК.

При сравнении «визуальных отпечатков» максимальных откликов сенсоров в РГФ над источниками ПНЖК установлено, что льняное масло холодное имеет более насыщенный запах, чем остальные холодные пробы (на 62-92 %), а горячее имеет более насыщенный запах, чем семена льна (на 55 %) и рыбий жир (на 92 %), но менее насыщенный, чем грецкий орех (на 2 %). Таким образом, добавки по степени влияния их на запах готового продукта можно расположить в ряд (по убыванию): ядра грецкого ореха > масло льняное > семена льна > рыбий жир. Для прогнозирования влияния собственного запаха источников ПНЖК на запах рыбных полуфабрикатов оценивали степень соответствия их «визуальных отпечатков» сигналам матрицы сенсоров над объектами сравнения – рыбными полуфабрикатами без добавок (рисунок 3).

По результатам сравнения «визуальных отпечатков», полученных при экспонировании сенсоров в парах РГФ над подогретыми пробами источников ПНЖК (рисунок 2) и рыбным рубленым полуфабрикатом, доведенным до кулинарной готовности – контролем (рисунок 3), можно спрогнозировать изменение запаха готовых изделий с добавками.

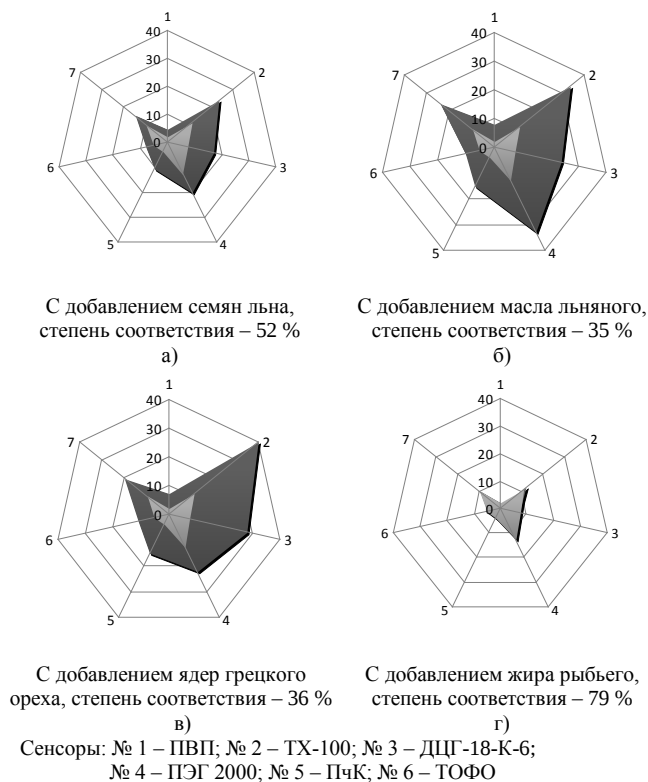


Рисунок 3 – «Визуальные отпечатки» максимальных откликов сенсоров в РГФ над пробой рыбного полуфабриката без добавки (светлая заливка фигуры) и добавками, содержащими ПНЖК (темная заливка фигуры).

Так, при введении в котлеты семян или масла льна геометрия «визуального отпечатка» сигналов сенсоров над готовым изделием изменяется по осям 3 и 5 (рисунок 3), которым соответствуют сигналы сенсоров с пленками ДЦГ-18-К-6 и ПчК. Возрастание максимальных откликов сигналов этих сенсоров указывает на увеличение в РГФ готового продукта таких соединений, как спирты, кетоны, сложные эфиры карбоновых кислот, что в свою очередь приведет к появлению несоответствующего для рыбных рубленых полуфабрикатов оттенка запаха. Сигналы сенсоров с пленками 2, 4, 7 также значительно увеличиваются, следовательно, помимо появления специфического запаха добавки, готовое изделие будет характеризоваться большей его интенсивностью за счет легколетучих кислот и азотсодержащих соединений. Применение в качестве функциональной добавки ядер грецкого ореха будет придавать рыбным полуфабрикатам запах свойственный вводимому продукту. Внесение в рыбные полуфабрикаты рыбьего жира практически не повлияет на запах готового продукта, что подтверждается идентичностью геометрии «визуальных отпечатков» откликов сенсоров,

полученных при их экспонировании в парах РГФ над контрольным образцом и изделием с добавлением рыбьего жира (рисунок 3).

В результате проведенных исследований установлено влияние легколетучих соединений растительного и животного сырья, на состав запаха рыбных рубленых полуфабрикатов, обогащенных полиненасыщенными жирными кислотами. Таким образом, применение пьезосорбционного «электронного носа» перспективно для прогнозирования запаха различных продуктов питания.

ЛИТЕРАТУРА

1 Кучменко, Т.А. Газоанализатор «электронный нос» – альтернатива органолептических испытаний варено-копченых колбас [Текст] / Т.А. Кучменко, А.А. Зинченко // Мясная индустрия. - 2007. - № 5. - С. 30 – 33.

2 Кучменко, Т.А. Новый способ анализа йогуртов по аромату [Текст] / Т.А. Кучменко, Ю.А. Масленникова // Молочная промышленность. - 2007. - № 11. - С. 28 – 32.

3 Кучменко, Т.А. Инновационные решения в аналитическом контроле [Текст]: учебное пособие / Т.А. Кучменко. - Воронеж: ВГТА, ООО «СенТех», 2009. – 252 с.

4 Кучменко, Т.А. Метод пьезокварцевого микровзвешивания в газовом органическом анализе [Текст]: дисс. ... докт. хим. наук. / Т.А. Кучменко. - Саратов, 2003. – 475 с.

5 Доронин, А.Ф. Функциональное питание [Текст] / А.Ф. Доронин, Б.А. Шендеров. – М.: ГРАНТЪ, 2002. – 296 с.

6 Кацерикина, Н.В. Технология продуктов функционального питания [Текст]: учебное пособие / Н.В. Кацерикина. – Кемерово: КТИПП, 2004. – 146 с.

7 Сайт научно-исследовательского института лесной генетики и селекции ФГУП НИИЛГиС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.niilgis.ru/orex-greczkij.html>. - Загл. с экрана.

8 Ржавская, Ф. М. Жиры рыб и морских млекопитающих [Текст] / Ф. М. Ржавская. – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 469 с.

9 Белки, жиры, углеводы, витамины, минералы, антиоксиданты и другие соединения,

содержащиеся в растениях и животных. Рыбий жир. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://belki.com.ua/giri-rybii-gir.html>. - Загл. с экрана.

10 Кучменко, Т.А. Применение метода пьезокварцевого микровзвешивания в аналитической химии [Текст] / Т. А. Кучменко. – Воронеж: ВГТА, 2001. – 280 с.

REFERENCES

1 Kuchmenko, T.A. Gas analyzer "electronic nose" – an alternative to sensory tests boiled-smoked sausages [Text] / T.A. Kuchmenko, A.A. Zinchenko // Meat Industry. - 2007. - № 5. - P. 30 – 33.

2 Kuchmenko, T.A. A new analysis of the yoghurt by flavor [Text] / T.A. Kuchmenko, Y.A. Maslennikova // Dairy Industry. - 2007. - № 11. - P. 28 – 32.

3 Kuchmenko, T.A. Innovative solutions in analytical control [Text]: textbook / T.A. Kuchmenko. - Voronezh: VSTA, LLC "SenTeh", 2009. – 252 p.

4 Kuchmenko, T.A. The method of quartz crystal microbalance in the gas organic analysis [Text]: diss. ... ScD / T.A. Kuchmenko. - Saratov, 2003. – 475 p.

5 Doronin, A.F. Functional food [Text] / A.F. Doronin, B.A. Shenderov. – M.: GRANT, 2002. – 296 p.

6 Katserikova, N.V. The technology of functional food [Text]: textbook / N.V. Katserikova. – Kemerovo: KTIFI, 2004. – 146 p.

7 Website research institute of forest genetics and breeding of FSUE SRIFGS [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.niilgis.ru/orex-greczkij.html>. – Title screen.

8 Rzhavskaya, F.M. Fats of fish and marine mammals [Text] / F.M. Rzhavskaya. – M.: Pishhevaya promyshlennost, 1976. – 469 p.

9 Proteins, fats, carbohydrates, vitamins, minerals, antioxidants, and other compounds contained in plants and animals. Fish oil. [Electronic resource]. – Access mode: <http://belki.com.ua/giri-rybii-gir.html>. -Title screen.

10 Kuchmenko, T.A. Application of the quartz crystal microbalance method in analytical chemistry [Text] / TA Kuchmenko. – Voronezh: VSTA, 2001. – 280 p.

УДК 678.762.2

Аспирант С.В. Жданова, профессор С.С. Никулин

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра технологии органического синтеза и высокомолекулярных соединений, тел. (473)249-60-24

Н.С. Никулина

(Воронежский институт ГПС МЧС России)

доцент Т.Н. Пояркова

(Воронежский государственный университет)

Выделение каучука из латекса коагулянтom на основе ацетилцеллюлозного волокна и сополимера диметилдиаллиламмоний хлорида с акриламидом

В работе рассмотрены вопросы применения каучуков из латексов бинарного коагулирующего агента, состоящего из ацетилцеллюлозного волокна и сополимера четвертичной соли аммония с акриламидом. Рассмотрено влияние на процесс выделения каучука из латекса расхода коагулирующего агента, температуры.

The article concerns the use of rubber latex binary coagulating agent composed of cellulose acetate fibers and a copolymer of a quaternary ammonium salt and acrylamide. The influence of the process of separation of rubber latex coagulant flow and temperature is considered.

Ключевые слова: ацетилцеллюлозное волокно, сополимер диметилдиаллиламмоний хлорида с акриламидом, коагуляция.

Промышленность синтетического каучука активно развивается, совершенствуется оборудование и технологии производства, внедряются новые каталитические системы. В тоже время производство новых синтетических каучуков, обладающих комплексом требуемых свойств, практически отсутствует. Модификация выпускаемых в промышленных масштабах синтетических каучуков может позволить целенаправленно изменять их свойства. Для этого можно использовать как химические, так и физические методы. Одним из перспективных направлений модификации является введение различных добавок на одной из стадий технологического процесса производства синтетических полимеров. В опубликованных литературных источниках описан ряд приемов [1], позволяющих осуществить этот процесс на разных стадиях производства каучука, что приводит к более равномерному распределению волокнистой добавки в объеме каучуковой матрицы. Перспективно применять волокна различной природы. Наиболее доступным, с практической точки зрения, может быть применение волокнистых добавок в каучуки, получаемые эмульсионной полимеризацией, именно на стадии выделения каучука из латекса. Данные приемы позволяют достичь равномерного распределения волокнистой добавки в объеме каучуковой матрицы.

Цель работы – применение для выделения каучуков из латекса СКС-30 АРК ацетилцеллюлозного волокна в сочетании с сополимером диметилдиаллиламмоний хлорида с акриламидом.

Процесс коагуляции проводили по общепринятой методике[2].

В емкость, помещенную в термостат, загружали латекс бутадиен-стирольного каучука (сухой остаток 20,4 %), термостатировали при заданной температуре в течение 10-15 минут и совмещали при постоянном перемешивании с раствором сополимера диметилдиаллиламмоний хлорида с акриламидом (концентрация ~ 2,2 %) или его дисперсию с ацетилцеллюлозным волокном. После введения коагулянта систему перемешивали в течение ~ 1 минуты и вводили подкисляющий агент (~ 2,0 % водный раствор серной кислоты) в расчете на ~ 12 кг/т каучука. Образовавшуюся крошку каучука отделяли от серума, промывали водой и сушили при 80-85 °С.

Эффективность коагулирующего (флокулирующего) действия сополимера диметилдиаллиламмоний хлорида с акриламидом (СДМДААХАА), а также его водной дисперсии с ацетилцеллюлозным волокном оценивали как гравиметрически (по относительному количеству образующейся крошки каучука), так и визуально – по прозрачности серума.

Влияние расхода бинарного коагулянта на полноту коагуляции каучукового латекса СКС-30 АРК

Наименование	Расход СДМДААХАА, кг/т каучука				
	0,5	1,0	2,0	2,5	3,0
Добавка ацетилцеллюлозного волокна, % :	Выход крошки каучука, %				
0,1/0,5	<u>59,3</u> 57,7	<u>76,4</u> 75,8	<u>92,0</u> 91,3	<u>96,8</u> 94,9	<u>98,2</u> 97,0
1,0/1,5	<u>56,8</u> 54,0	<u>73,2</u> 70,9	<u>89,4</u> 87,6	<u>94,0</u> 93,6	<u>95,0</u> 94,4

При этом может наблюдаться, во-первых, флокуляция латекса под действием катионных полиэлектролитов, сопровождающаяся нейтрализацией отрицательного поверхностного заряда латексных частиц с образованием нерастворимых комплексов. Во-вторых – флокуляция ацетилцеллюлозного волокна. В-третьих – гетерокоагуляция и гетероадагуляция латексных глобул совместно с ацетилцеллюлозным волокном. Однако эти процессы не полностью описывают возможные варианты взаимодействия частиц данной сложной системы. Кроме того, кислая среда, создаваемая при коагуляции бутадиен-стирольного латекса, создает условия для взаимодействия амидных групп, содержащихся в макромолекулах СДМДААХАА с образованием солевой формы, которая может усиливать процесс агломерации и приводить к снижению расхода коагулянта. Соли аммония, как было показано в работе [4], являются коагулирующими агентами.

Проведенными экспериментальными исследованиями установлено, что полнота выделения каучука из латекса зависит от расхода бинарного коагулирующего агента. С увеличением расхода бинарного коагулянта повышается выход крошки каучука, выделяемой из латекса. Более высокий выход крошки каучука в присутствии данного коагулянта объясняется снижением потерь каучука в виде мелкодисперсной крошки с серумом и промывными водами за счет присутствия ацетилцеллюлозного волокна.

Отдельно следует отметить, что в случае использования двухкомпонентного коагулянта наблюдался меньший разброс в экспериментальных результатах и более высокая их стабильность, что можно отнести к положительным аспектам его применения.

Одновременно проводили оценку полноты захвата волокнистой добавки образующейся крошкой каучука.

В качестве волокнистой добавки использовали ацетилцеллюлозное волокно, измельченное до размера от 2,0 до 10,0 ± 1,0 мм с диаметром ~ 0,1-0,05 мм.

На первом этапе целесообразно было рассмотреть влияния температуры и расхода СДМДААХАА на процесс коагуляции латекса СКС-30 АРК.

Экспериментально установлено, что с увеличением расхода СДМДААХАА, как и следовало ожидать, повышается масса выделяемой крошки каучука из латекса. Повышение температуры коагуляции с 2 до 95 °С не сопровождается заметным влиянием на эффективность коагулирующего действия СДМДААХАА. Однако при этом можно отметить, что коагуляция лучше всего протекает при температурах, не превышающих 60 °С.

Полученные экспериментальные данные хорошо согласуются с результатами [3] по применению четвертичных солей аммония для выделения каучука из латекса. Наибольшая полнота выделения каучука из латекса (таблица 1) достигалась при расходе СДМДААХАА 3,0 кг/т каучука.

Т а б л и ц а 1

Влияние расхода СДМДААХАА на полноту выделения каучука из латекса СКС-30 АРК

Наименование	Расход СДМДААХАА, кг/т каучука				
	0,5	1,0	2,0	2,5	3,0
Температура коагуляции, °С :	Выход крошки каучука, %				
2/20	<u>54,6</u> 54,1	<u>71,4</u> 72,0	<u>90,3</u> 89,5	<u>91,3</u> 90,8	<u>96,7</u> 95,0
60/80	<u>50,0</u> 47,9	<u>70,5</u> 68,6	<u>88,6</u> 83,4	<u>89,5</u> 87,3	<u>93,2</u> 92,0

Введение ацетилцеллюлозного волокна в СДМДААХАА для выделения каучука из латекса приводит к снижению его расхода (таблица 2) с 3,0 до 2,0-2,5 кг/т каучука.

В такого рода сложных коагуляционных системах одновременно может протекать несколько процессов: гомо-, гетерокоагуляция, гетероадагуляция.

Таким образом, на основе полученных экспериментальных данных можно сделать следующий вывод: использование бинарного коагулирующего агента, состоящего из сополимера СДМДААХАА и ацетилцеллюлозного волокна, позволяет повысить выход и снизить потери каучука в виде мелкодисперсной крошки, уменьшить расход дорогостоящего и дефицитного коагулирующего агента сополимера СДМДААХАА.

ЛИТЕРАТУРА

1 Никулин, С.С. Композиционные материалы на основе наполненных бутадиенстирольных каучуков [Текст] / С.С. Никулин, И.Н. Пугачева, О.Н. Черных. – М.: Издательство «Академия естествознания», 2008.

2 Пояркова, Т.Н. Практикум по коллоидной химии латексов [Текст] / Т.Н. Пояркова, С.С. Никулин, И.Н. Пугачева и др. – М.: Издательство «Академия естествознания», 2011.

3 Вережников, В.Н. Выделение эмульсионного полибутадиена из латекса полиэлектролитом ВПК-402. [Текст] / В.Н. Вережников, С.С. Никулин, Т.Н. Пояркова и др // Журнал прикладной химии. - 2000. - Т. 73. - № 5. - С. 565-569.

4 Вережников, В.Н. Применение азотсодержащих соединений для выделения синтетических каучуков из латексов [Текст] / В.Н. Вережников, С.С. Никулин // Химическая промышленность сегодня. – 2004. - № 11. - С. 25-36.

REFERENCES

1 Nikulin, S.S. Composite materials based on filled styrene-butadiene rubber [Text] / S.S. Nikulin, I.N. Pugacheva, O.N. Chernih. – M.: Publishing house "Academiya estestvoznaniya", 2008.

2 Poyarkova, T.N. Workshop on latex colloid chemistry [Text] / T.N. Poyarkova, S.S. Nikulin, I.N. Pugacheva et al. - M.: Publishing house "Academiya estestvoznaniya", 2011.

3 Verezchnikov, V.N. Isolation of polybutadiene latex emulsion polyelectrolyte M IC-402. [Text] / V.N. Verezchnikov, S.S. Nikulin, T.N. Poyarkova et al // Journal of applied chemistry. - 2000. – V. 73. - № 5. - P. 565-569.

4 Verezchnikov, V.N. The use of nitrogen compounds to separate from the synthetic rubber latex [Text] / V.N. Verezchnikov, S.S. Nikulin // Chemicals today. – 2004. - № 11. - P. 25-36.

Биотехнология, бионанотехнология и технология сахаристых продуктов

УДК 664.8.047.1

Старший научный сотрудник И.В. Черемушкина,
(ООО «Рета»)
профессор О.С. Корнеева, профессор А.А. Шевцов,
аспирант И.В. Мажулина
(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) тел. (473) 255-34-71

Эксергетический анализ инновационной технологии культивирования микробных продуцентов ферментов

Разработанная технология культивирования микробных продуцентов ферментов и получения порошкообразных ферментных препаратов с применением парожеткторного теплового насоса обеспечивает высокую энергоэффективность и экологическую безопасность ведения процесса. Полученный высокий эксергетический КПД свидетельствует о повышении степени термодинамического совершенства технологии как системы процессов подготовки посевной культуры, непосредственного культивирования микроорганизмов, охлаждения готовой культуральной жидкости и получения порошкообразного ферментного препарата с однородным гранулометрическим составом.

The developed technology of cultivation of microbial enzyme producers and production of powdered enzyme preparations using steam-jet heat pump provides high energy efficiency and ecological safety of the process. The resulting high exergic performance indicates the increase in the degree of thermodynamic perfection of the technology as a system of processes of preparing the culture, cultivating microorganisms, cooling the finished culture liquid and obtaining the target powder product with the homogenous granulometric composition.

Ключевые слова: ферментные препараты, технология культивирования, эксергетический анализ, энергоэффективность.

Современные тенденции в развитии теории массообмена при культивировании аэробных микроорганизмов подготовили условия для научного подхода к созданию новых энергосберегающих технологий порошкообразных ферментных препаратов в замкнутых циклах по материальным и энергетическим потокам при наиболее рациональных с энергетической точки зрения схемах подключения тепловых насосов (ТН) [1]. Эффективное замещение в системах теплоснабжения технологических процессов при получении ферментных препаратов на теплоту возобновляемых и вторичных источников посредством ТН является одним из важнейших принципов энергосбережения и охраны окружающей среды [2, 3]. Это в полной мере относится к производству порошкообразных ферментных препаратов с применением теплонасосных технологий, что делает их внедрение актуальным в условиях экономического курса страны, направленного на энергосбережение и энергоэффективность [4].

Следует отметить, что традиционные способы производства ферментных препаратов не предусматривают подготовку энергоносителей и их рациональное использование при выращивании культур микроорганизмов и не могут быть эффективно реализованы в условиях, когда тепловая энергия генерируется непосредственно на предприятиях ферментной промышленности.

В результате совместных исследований разработана энергоэффективная технология культивирования микробных продуцентов ферментов и получения порошкообразных ферментных препаратов с применением парожеткторного теплового насоса [2, 5].

Технологический цикл получения биомассы аэробных микроорганизмов начинается с приготовления жидкой посевной культуры в инокуляторе с охлаждающей рубашкой, устройствами перемешивания и аэрации (рисунок 1).

Инокулятор проверяют на герметичность паром, заполняют питательной средой и стерилизуют ее. После охлаждения питательной среды вносят культуру продуцента. Культивирование на всех стадиях ведут при оптимальных

температуре и аэрации. По истечении времени культивирования жидкую посевную культуру перекачивают стерильным воздухом через линию перекачивания из инокулятора в предварительно стерилизованный ферментер. Проверку на герметичность и стерилизацию ферментера проводят, как и в случае инокулятора.

Культивирование в ферментере осуществляют при механическом перемешивании питательной среды и подаче «теплой» воды в обогревающую его рубашку с целью поддержания оптимальной температуры процесса.

Культуральную жидкость из ферментера подают в предварительно стерилизован-

ные емкости для сбора готовой культуры с системой охлаждения.

Для подготовки «холодной» и «теплой» воды используется парожекторная холодильная машина, работающая в режиме теплового насоса, состоящая из эжектора; испарителя; холодоприемника; конденсатора; терморегулирующего вентиля; сборника отработанной воды, парогенератора с теплонагревательными элементами и предохранительным клапаном; насоса подачи воды в парогенератор; насоса рециркуляции хладагента через холодоприемник, работающих по замкнутому термодинамическому циклу.

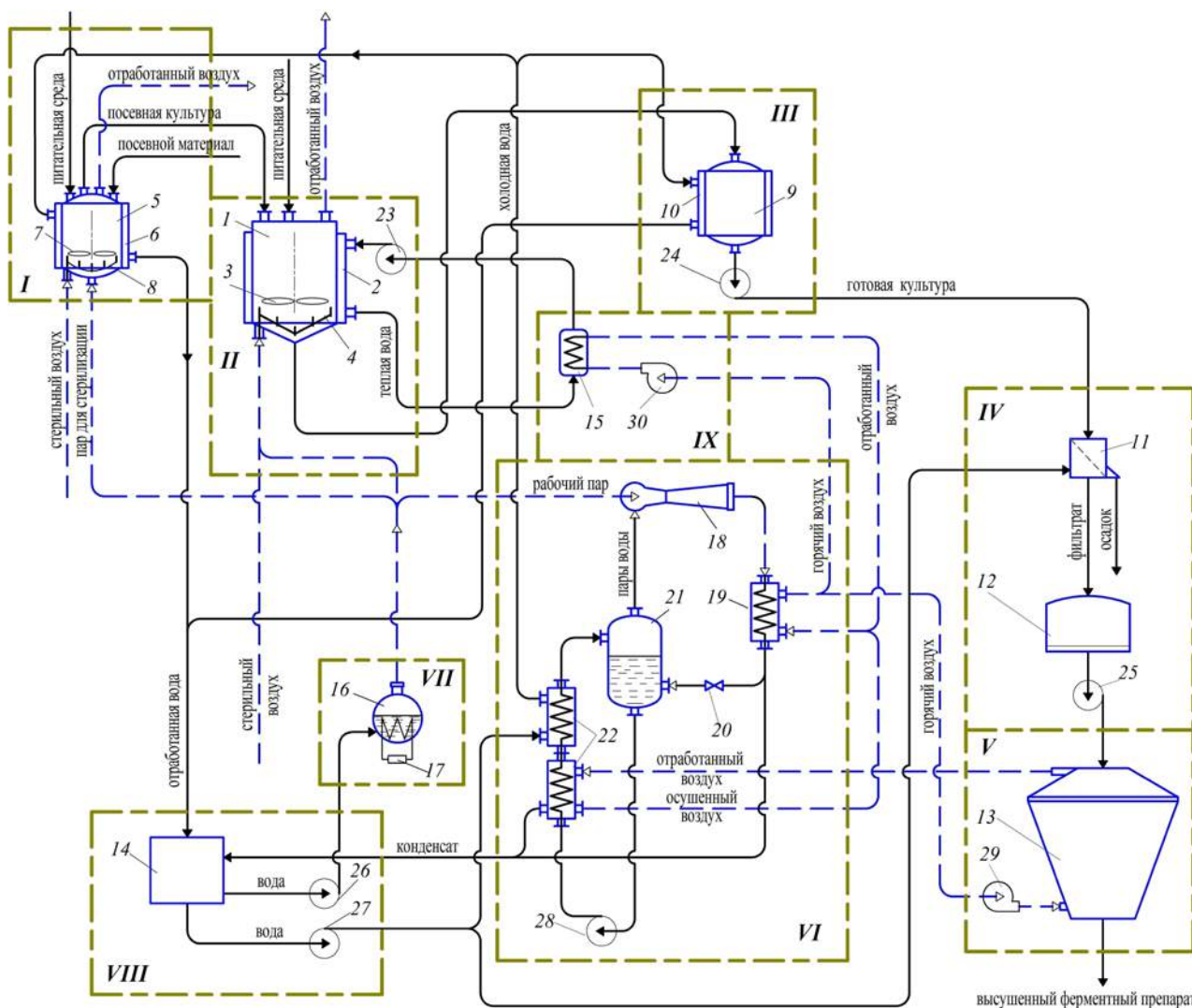


Рисунок 1 - Технологическая схема получения порошкообразных ферментных препаратов: 1 – ферментер (2 – обогревающая рубашка, 3 – мешалка, 4 – устройство аэрации); 5 – инокулятор (6 – охлаждающая рубашка, 7 – мешалка, 8 – устройство аэрации); 9 – сборник готовой культуры (10 – охлаждающая рубашка); 11 – фильтр; 12 – сборник жидкой фазы ферментного препарата; 13 – распылительная сушилка; 14 – сборник отработанной воды и конденсата; 15 – рекуперативный теплообменник; 16 – парогенератор (17 – электронагревательные элементы); 18 – эжектор; 19 – конденсатор; 20 – терморегулирующий вентиль; 21 – испаритель; 22 – холодоприемник; 23-28 – насосы; 29-30 – вентиляторы.

При этом в парогенераторе посредством электронагревательных элементов вырабатывается рабочий пар и под давлением подается в сопло эжектора, вовлекая эжектируемые пары хладагента, в качестве которого используется вода из испарителя, создавая в нем пониженное давление. За счет рециркуляции хладагента через холодоприемник получают «холодную» воду путем рекуперативного теплообмена между хладагентом и водой. Полученная «холодная» вода из холодоприемника подается в охлаждающую рубашку инокулятора и систему охлаждения сборников готовой культуры. Образовавшуюся после эжектора смесь паров хладагента и рабочего пара направляют в конденсатор. Процесс конденсации сопровождается выделением теплоты, при этом теплота конденсации в конденсаторе используется для получения «теплой» воды посредством рекуперативного теплообмена между водой и конденсирующими парами. Нагретая вода подается в обогревающую рубашку ферментера.

Часть образовавшегося после конденсатора водяного конденсата направляется через терморегулирующий вентиль в испаритель для пополнения в нем воды, а другая избыточная часть конденсата выводится из замкнутого цикла парозежекторной холодильной машины и вместе с отработанной водой после инокулятора, ферментера и сборников готовой культуры подается в сборник отработанной воды.

Готовая культура под давлением подается на фильтрование, а фильтрат культуральной жидкости направляется в распылительную сушилку.

Производственная проверка предлагаемой технологии осуществляется в две стадии. Первая стадия включает подготовку жидкой посевной культуры в инокуляторе. Вторая – процесс выращивания аэробной культуры продуцента глубинным способом культивирования в ферментере с комбинированным подводом энергии (к газовой фазе для аэрации стерильным воздухом с помощью барботера и к жидкой фазе перемешиванием с помощью механической мешалки), который заключался в дозированной подаче потоков питательной среды, инокулята (посевого материала), стерильного воздуха, «теплой» воды в обогревающую рубашку для обеспечения высокой интенсивности массо- и энергообмена микробных клеток инокулята с питательной средой за счет стабилизации параметров процесса на

уровне, требуемом для оптимального развития продуцента и образования целевого продукта. Из ферментера отводят отработанные воздух, воду и готовую культуру микроорганизмов в виде смеси, содержащей клетки, внеклеточные метаболиты и биомассу с остаточной концентрацией целевого продукта.

Процесс культивирования продуцента проводился в вертикальном ферментере фирмы «Sartorius Stedim Biotech» серии *BIOSTAT* с рабочим объемом 100 л, предназначенным для выращивания микроорганизмов или культур клеток. Контроль над параметрами процесса осуществлялся с помощью микропроцессорной системы управления DCU (Digital Control Unit). Для стабилизации температурных режимов при приготовлении жидкой посевной культуры в инокуляторе, непосредственном выращивании культуры микроорганизмов в ферментере и охлаждении готовой культуры в приемных сборниках осуществляли подготовку «теплой» и «холодной» воды с использованием парозежекторной холодильной машины, работающей в режиме теплового насоса, со следующими техническими характеристиками:

Холодопроизводительность, кВт	20
Температура кипения:	
в испарителе, °C	4
в парогенераторе, °C	154
Температура конденсации, °C	127
Температура воды на входе в конденсатор, °C	15
Коэффициент эжекции	4
Площадь теплообменной поверхности холодоприемника, м ²	8
Коэффициент теплопередачи холодоприемника, Вт/м ² ·°C	92
Площадь теплообменной поверхности конденсатора, м ²	6
Коэффициент теплопередачи конденсатора, Вт/м ² ·°C	49
Хладагент	вода

В качестве объектов для производственной проверки предлагаемой инновационной технологии использовали микромицеты *Trichoderma harzianum* F114 - продуцент фермента β-маннаназы и *Aspergillus awamori* 2250, который является продуцентом инулиназы.

Максимальная активность β-маннаназы достигалась при следующих параметрах культивирования [6]:

состав питательной среды, %:

кукурузная мука	3,7
MgSO ₄	0,5
белково-витаминный комплекс	0,2
KH ₂ PO ₄	1,0
KCL	0,05
FeSO ₄	0,1
давление стерильного воздуха при подаче в ферментатор, МПа	0,04
частота вращения мешалки, с ⁻¹	3,5 – 3,6
pH жидкой фазы	4,0
температура культивирования, °C	32 ± 0,5
содержание СВ фильтрата культуральной жидкости, %	7,0 ± 0,5
активность β-маннаназы, ед/см ³	564 ± 3
продолжительность культивирования, ч	72

Параметры культивирования продуцента инулиназы были следующими [7]:

состав питательной среды, %:

меласса	5,0
(NH ₄) ₂ HPO ₄	1,0
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0,05
KH ₂ PO ₄	0,1
давление стерильного воздуха при подаче в ферментатор, МПа	0,03
частота вращения мешалки, с ⁻¹	3,5 – 3,6
pH жидкой фазы	4,2
температура культивирования, °C	31 ± 0,5
содержание СВ фильтрата культуральной жидкости, %	7,0 ± 0,5
активность инулиназы, ед/см ³	25 ± 3
продолжительность культивирования, ч	96

Оценка энергоэффективности предлагаемой технологии базировалась на классической модели, предложенной Я. Шаргуттом [8].

По Шаргутту эксергия – максимально полезная работа, которая может быть получена, когда некоторое вещество переходит в состояние полного термодинамического равновесия с окружающей средой в результате обратимых процессов. Полная эксергия потока вещества (смеси веществ) может быть выражена уравнением:

$$\sum E_s = \sum E_g + \sum D, \quad (1)$$

где $\sum E_s$ – суммарная эксергия вводимых в контрольную поверхность материальных и энергетических потоков; $\sum E_g$ – суммарная эксергия выводимых из контрольной поверхно-

сти полезных материальных и энергетических потоков; $\sum D = T_0 \cdot \Delta S$ – суммарные эксергетические потери, обусловленные диссипацией энергии при взаимодействии потока с окружающей средой.

Соотношение (1) для предлагаемой технологии [4, 9] рассматривалось в следующем виде:

$$E_1'' + E_2'' + E_3'' + \sum E_g'' = E_1^k + E_2^k + E_3^k + \sum D_i + \sum D_e, \quad (2)$$

где слагаемые этих уравнений – эксергия (кДж): посевного материала E_1'' ; питательной среды E_2'' ; стерильного воздуха E_3'' суммарной электроэнергии приводов оборудования $\sum E_g''$; отработанного воздуха E_1^k ; осадка, идущего на кормовые цели E_2^k ; высушенного ферментного препарата E_3^k ; сумма потерь эксергии в результате необратимости процессов, происходящих внутри системы $\sum D_i$; сумма потерь эксергии во внешнюю среду $\sum D_e$.

Уравнение (2) отражает изменение эксергии биотехнологической системы за счет ввода посевного материала, питательной среды, стерильного воздуха, подвода электроэнергии к оборудованию; необратимых изменений структурно-механических свойств сырья, продуктов и вспомогательных потоков, сопряженных с затратами электроэнергии на приводы рабочих органов насосов, вентиляторов, мешалок и ТЭНов; покрытия потерь, возникающих вследствие необратимости физико-химических и биохимических процессов, протекающих при культивировании; компенсации потерь, обусловленных действием окружающей среды. Будем различать механическую, термическую и химическую составляющие эксергии.

Механическая эксергия потоков газообразных веществ представляет собой расширение от текущего давления до давления окружающей среды:

$$e_p = \frac{R}{M} T_0 \cdot \ln \left(\frac{P}{P_0} \right), \quad (3)$$

где R – универсальная газовая постоянная, кДж/(моль·К); M – молярная масса газа, кг/моль; T – температура окружающей среды, К; P , P_0 – давление газа в рассматриваемом потоке и в состоянии равновесия с окружающей средой, кПа.

При этом механическая составляющая эксергии суспензии, находящейся под давлением в трубопроводах, вычисляется пересчетом давле-

ния, создаваемого рециркуляционным насосом, с учетом расхода суспензии.

Термической составляющей эксергии обладают потоки, имеющие температуру выше принятой для окружающей среды (293,13 К). Удельную термическую эксергию вычисляют по уравнению Гюи-Столлы:

$$e_t = e - e_0 = h - h_0 - T_0(S - S_0), \quad (4)$$

где, e , e_0 , h , h_0 , S , S_0 - удельная термическая эксергия, кДж/кг, удельная энтальпия, кДж/кг и энтропия, кДж/(кг·К) продукта при текущих параметрах технологического процесса и в состоянии равновесия с окружающей средой.

Эксергию воздуха, участвующего в процессе сушки ферментного препарата, рассматривается как бинарная смесь, состоящая из 1 кг воздуха и X кг водяных паров:

$$e_a = \bar{c}_a \cdot (T - T_0) - \left(T_0 \cdot \bar{c}_a \cdot \ln \frac{T}{T_0} - R_a \cdot \ln \frac{p - \phi \cdot p_s(T)}{p_0 - \phi_0 \cdot p_s(T_0)} + \right. \\ \left. + X \cdot (h_a - h_a^0 - T_0 \cdot (S_a - S_a^0)) \right) \quad (5)$$

где $\bar{c}_a$ - средняя удельная изобарная теплоемкость влажного воздуха между его текущим состоянием в потоке и состоянием равновесия с окружающей средой, кДж/(кг·К); p , p_0 и ϕ , ϕ_0 и, - полное давление, Па и относительная влажность воздуха, % в потоке и в окружающей среде; $p_s(T)$, $p_s(T_0)$ - давление насыщенного водяного пара при температуре потока и окружающей среды, Па; h_a , h_a^0 и S_a , S_a^0 - энтальпия и энтропия водяного пара при параметрах потока и окружающей среды, кДж/кг и кДж/(кг·К).

Молярная химическая эксергия вещества может быть вычислена в соответствии со следующей формулой:

$$\varepsilon_\mu = \Delta G^0 + \sum A_i \cdot \varepsilon_i, \quad (6)$$

где ΔG^0 - энергия Гиббса, относящаяся к образованию определяемого вещества в соответствии с реакцией его получения; A_i - коэффициенты при исходных веществах в уравнении реакции, ε_i - молярные эксергии исходных веществ, кДж/моль.

Составляющие эксергии различных потоков были неодинаковы. Механической эксергией характеризовались, прежде всего, потоки стерильного воздуха и пара. Химическая эксергия в заметных количествах присутствовала у посевного материала и питательной среды. Химическая эксергия суспензии вычислялась, исходя из химического состава содержащихся в ней мак-

ромолекул. Термическая эксергия в рассматриваемой биотехнологии представлена незначительно, в основном ее приращение происходит за счет приводов оборудования.

Для проведения эксергетического анализа рассматриваемая система была условно отделена от окружающей среды замкнутой поверхностью и, в свою очередь, разделена на ряд контрольных поверхностей (таблица 1).

Т а б л и ц а 1

Контрольные поверхности системы

№ п/п	Наименование контрольной поверхности
I	Инокулятор
II	Ферментер
III	Сбор культуры
IV	Фильтрация
V	Сушка
VI	Холодильная машина
VII	Парогенератор
VIII	Сбор конденсата
IX	Теплообмен

Схема обмена предлагаемой технологической системы тепловыми и энергетическими потоками с окружающей средой, а также между контрольными поверхностями представлена на рис. 2 Теплофизические свойства веществ, образующих материальные потоки, а также данные для вычисления химической эксергии взяты из справочной литературы [10, 11, 12, 13].

В работе рассмотрено влияние на систему внутренних D^i и внешних D^e эксергетических потерь.

В суммарное количество внутренних эксергетических потерь входят потери от конечной разности температур в результате рекуперативного теплообмена между суспензией и охлаждающим воздухом; электромеханические, возникающие при необратимом изменении структурно-механических свойств продукта; гидравлические потери, обусловленные внезапным увеличением удельного объема воздуха и пара, а также внезапным снижением напора суспензии микроорганизмов при поступлении во внутреннюю полость оборудования.

Потери, обусловленные конечной разностью температур между потоками, определяют по формуле:

$$D^m \cong Q^m \cdot \bar{\tau}_e, \quad (7)$$

где Q^m - количество теплоты, переданное от одного потока к другому, кДж; $\bar{\tau}_e$ - среднее значение фактора Карно для двух взаимодействующих потоков.

Фактор Карно или эксергетическая температурная функция [14] равна термическому КПД цикла Карно между температурами контрольной поверхности и условно принятой окружающей среды:

$$\tau_e = (T_{кп} - T_0) / T_{кп}, \quad (8)$$

где $T_{кп}$ – температура теплоносителя внутри контрольной поверхности, К.

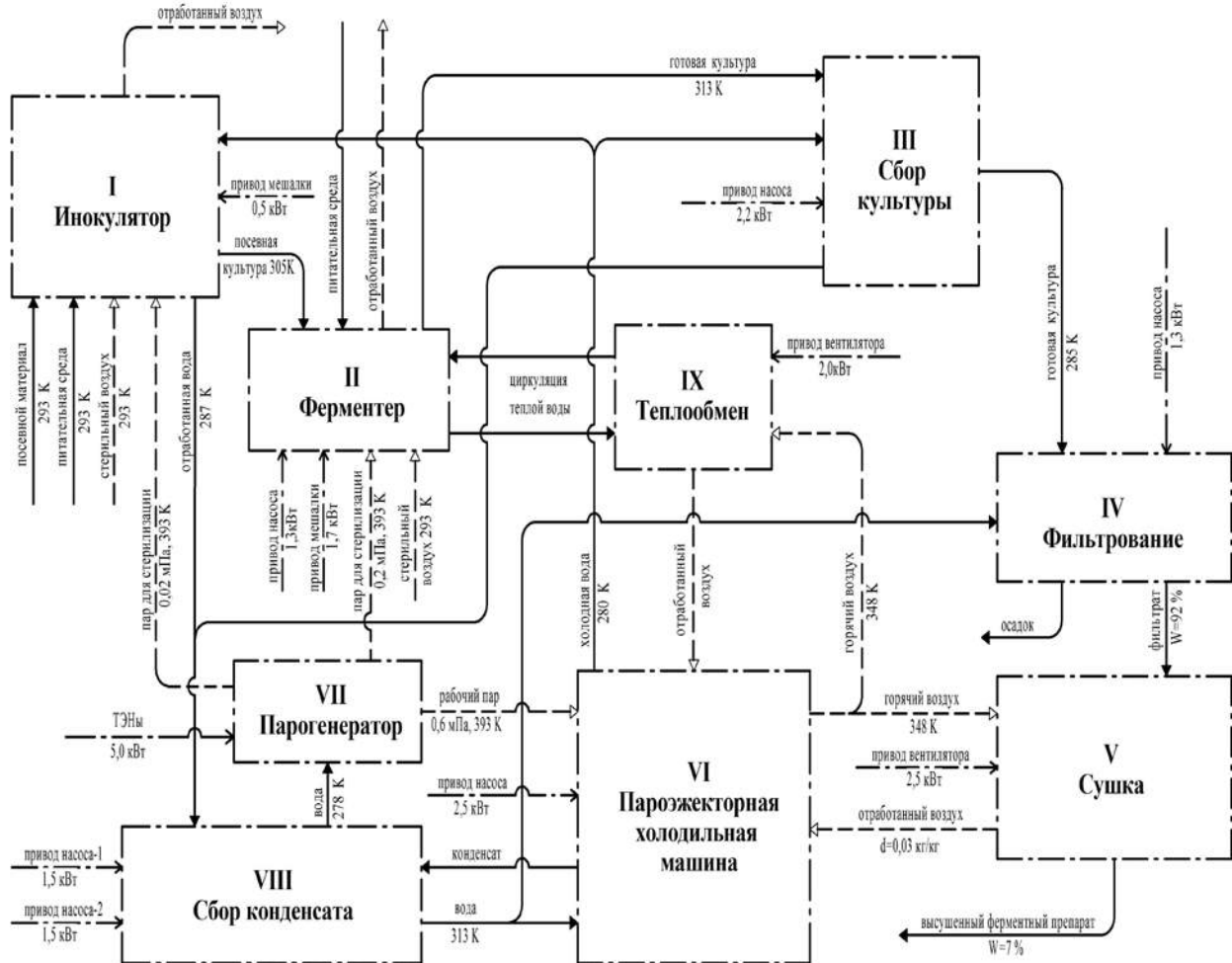


Рисунок 2 - Схема обмена потоками между контрольными поверхностями предлагаемой биотехнологической системы культивирования: ———— — потоки жидкостей и коллоидных растворов; - - - - - — газообразные потоки; — · — · — электроэнергия приводов оборудования; — — — — — границы контрольных поверхностей.

Эксергетические потери вследствие падения давления газов при их подаче в контрольную поверхность определяют по формуле:

$$D^2 = g \cdot \Delta H_z \cdot \frac{T_{кп}}{T_{вх}} \quad (9)$$

где $T_{вх}$ – температура, К теплоносителя на входе в контрольную поверхность; ΔH_z – гидравлические потери, м.

По формуле Дарси-Вейсбаха [13] найдены гидравлические потери при входе газов в контрольную поверхность:

$$\Delta H_z = \xi \cdot \frac{v_{вх}^2}{2g}, \quad (10)$$

где $v_{вх}$ – средняя скорость прохождения газа по сечению подводящего трубопровода, м/с; ξ – коэффициент сопротивления, определяемый отношением внутреннего объема оборудования, рассматриваемого в качестве контрольной поверхности, к поперечному сечению входного отверстия.

Электромеханические потери эксергии тождественны разности мощности приводов оборудования и приращения механической эксергии потока, перемещаемого данным оборудованием.

Внешние потери D^e связаны с условиями сопряжения системы с окружающей средой. Эти потери обусловлены отличием потенциалов потоков (температуры, давления, химического потенциала) внутри рассматриваемой системы от соответствующих значений в состоянии равновесия с окружающей средой, а также несовершенством изоляции оборудования.

Потери эксергии в окружающую среду, обусловленные несовершенством теплоизоляции, определены по формуле:

$$D^e = Q_{из} \cdot \tau_e, \quad (11)$$

где $Q_{из}$ – суммарные потери тепла в окружающую среду через контрольную поверхность, кДж; τ_e – фактор Карно.

Оценку термодинамического совершенства биотехнологической системы культивирования микроорганизмов проводили по эксергетическому КПД, исходя из значения эксергии высушенного ферментного препарата и осадка, состоящего из клеточной биомассы микроорганизмов и являющегося кормовым продуктом:

$$\eta_{экс} = \frac{\sum_{i=1}^l E_i^3}{\sum_{i=1}^n E_i^3} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i^3 - \sum_{j=1}^m D_j}{\sum_{i=1}^n E_i^3}, \quad (12)$$

где $\sum_{i=1}^l E_i^3$ – суммарная удельная эксергия по-

лезных потоков (готовой биомассы и осадка),

кДж/кг; $\sum_{i=1}^n E_i^3$ – суммарная затраченная

удельная эксергия (подведенная в систему извне), кДж/кг; $\sum_{j=1}^m D_j$ – суммарные эксергетические потери, кДж/кг.

Эксергия материальных и энергетических потоков, а также внутренние и внешние эксергетические потери, рассчитанные по формулам (7 – 11), составили эксергетический баланс биотехнологической системы культивирования аэробных микроорганизмов (таблица 2). При построении эксергетических диаграмм Грасмана-Шаргута (рисунок 3) в качестве абсо-

лютного эксергетического параметра выбрана удельная эксергия e , кДж/ч. Обозначение потоков на рисунке 3 представлено в таблице 2.

Полученный эксергетический КПД равен 24,02 %. Это говорит о повышении степени термодинамического совершенства системы при использовании контуров рециркуляции.

Рациональное использование тепловой и электрической энергии в системе холодо- и теплоснабжения с применением парожекторной холодильной машины, работающей в режиме теплового насоса, рассматривалось с точки зрения снижения себестоимости получаемого целевого продукта. Основным принципиальным решением по снижению энергозатрат в предлагаемой технологии является оптимальный выбор перепадов температур в испарителе и конденсаторе парожекторной холодильной машины при получении «холодной» и «теплой» воды. Отклонение от этих значений неизбежно приведет к увеличению потребляемой энергии: понижение температуры кипения хладагента в испарителе на 1 °C приведет к необходимости увеличения расхода рабочего пара в эжектор, а, следовательно, к перерасходу энергии на 5-7 %; а повышение температуры конденсации на 1 °C приведет к увеличению расхода энергии на 2,0-2,5 % [15].

Предлагаемая технология получения ферментных препаратов с применением парожекторной холодильной машины расширяет границы энергоэффективного сопряжения объектов различных температурных потенциалов на основе утилизации и рекуперации вторичных энергоресурсов. При этом в полной мере реализован универсальный подход в создании конкурентоспособной технологии, обеспечивающей выработку тепла и холода для совместно протекающих процессов подготовки жидкой посевной культуры в инокуляторе, непосредственного выращивания культуры микроорганизмов в ферментере, охлаждения готовой культуры в приемных сборниках и получения порошкообразного ферментного препарата с однородным гранулометрическим составом в распылительной сушилке.

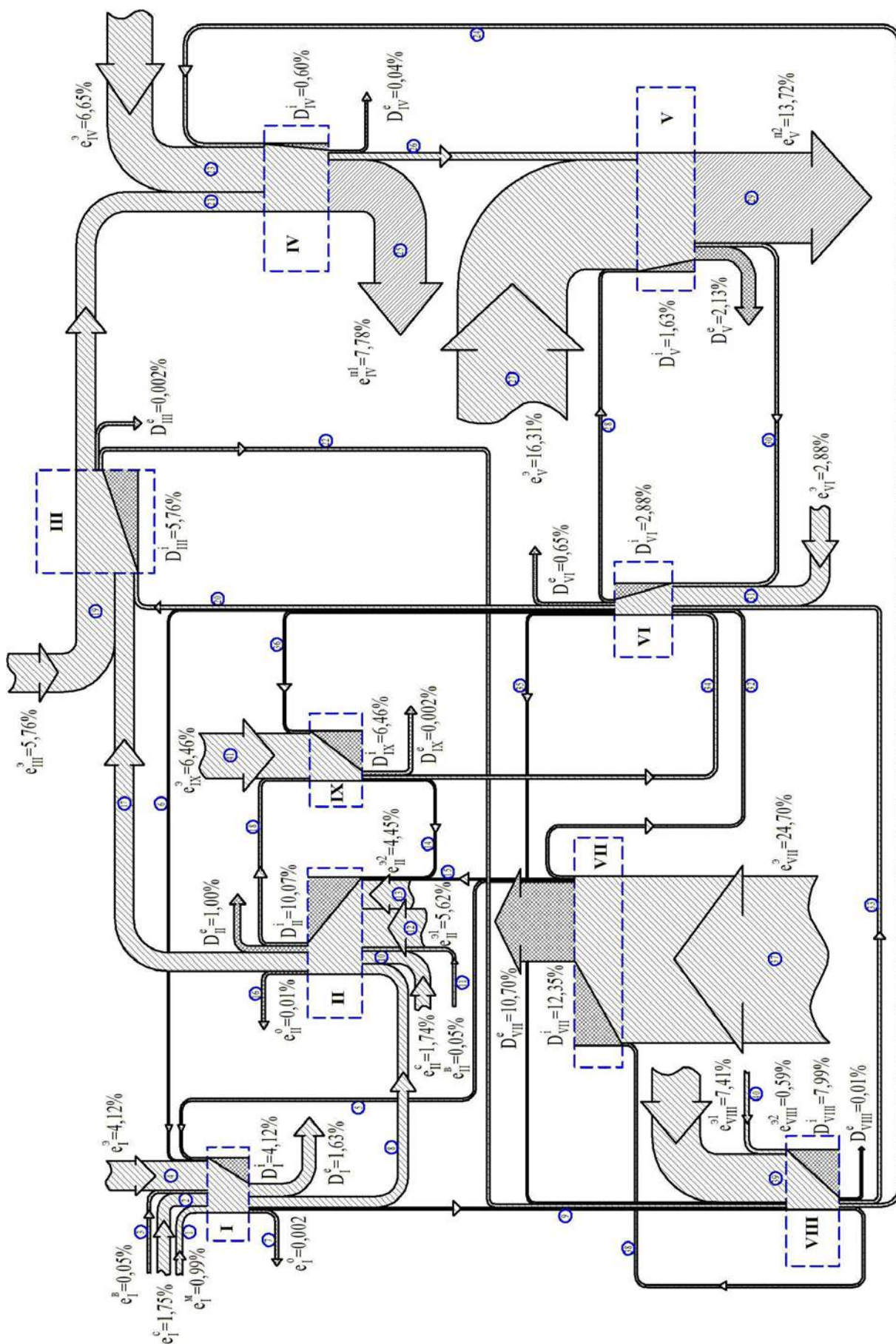


Рисунок 3 - Диаграмма Грассмана-Шаруга

Обозначения потоков на диаграмме Грассмана-Шаргута

№ потока	Наименование потока	№ потока	Наименование потока
1	Инокулят	10	Охлаждающий воздух
2	Суспензия на выходе из ФБР	11	Отработанный воздух
3	Пена суспензии	12	Кислород
4	Возврат суспензии	13	Электроэнергия лампы Osram
5	Готовая суспензия	14	Электроэнергия ламп ДНаТ
6	Циркулирующая суспензия	15	Привод компрессора
7	Свежий углекислый газ	16	Привод насоса-пеногасителя
8	Исходная газовоздушная смесь	17	Привод циркуляционного насоса
9	Отработанная газовоздушная смесь	18	Привод вентилятора
		19	Привод воздухоохладителя

Таким образом, предлагаемая технология имеет следующие преимущества по сравнению с традиционными способами производства ферментных препаратов:

- позволяет снизить удельные энергозатраты за счет включения инокулятора, ферментера, сборников готовой культуры в тепловую схему производства с использованием парорезекторной холодильной машины, работающей в режиме теплового насоса;

- обеспечивает повышение энергетической эффективности процесса ферментации за счет использования теплоты конденсации хладагента в конденсаторе холодильной машины при нагревании воды с последующей ее подачей в греющую рубашку ферментера и потенциала хладагента в холодоприемнике при охлаждении воды с последующей подачей в охлаждающую рубашку инокулятора и систему охлаждения приемных сборников готовой культуры;

- повышает экологическую безопасность реализации технологии за счет применения воды в качестве хладагента, исключая использование токсичных, взрыво- и пожароопасных рабочих сред, а также за счет организации замкнутых рециркуляционных схем по материальным и энергетическим потокам со значительным снижением отвода вторичных энергоресурсов из схемы тепло- и холодоснабжения;

- обеспечивает реальные условия утилизации пара низкого давления;

- позволяет обеспечить расход электроэнергии только на работу органов управления, насосов хладагента и воды, теплогревателей элементов парогенератора.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным

направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» по Государственному контракту № 14.512.11.0078 от 20.06.2013 года на оборудовании ЦКП "КУЭП".

ЛИТЕРАТУРА

1 Кафаров, В.В. Моделирование биохимических реакторов [Текст] / В.В. Кафаров, А.Ю. Викарев, Л.С. Гордеев. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 344 с.

2 Патент № 2484129 Способ производства биомассы аэробных микроорганизмов [Текст] / О.С. Корнеева, А.А. Шевцов, И.В. Черемушкина и др. - Заявл. 10.06.2013, Бюл. № 16

3 Шевцов, А.А Математическое обеспечение процесса культивирования микроводоросли *Spirulina* в фотобиореакторе пленочного типа [Текст] / А.А.Шевцов, А.В. Дранников, Н.Ю. Ситников и др. // Биотехнология. – 2013. – № 2. – С. 87 – 94.

4 Шевцов, А.А. Управление энергоэффективной биотехнологией получения ферментных препаратов на базе пароконпрессорного теплового насоса [Текст] / А.А.Шевцов, И.В. Мажулина // Автоматизация и современные технологии – 2013. - № 7. – С. 9 – 13.

5 Заявка на изобретение № 2012147129 Способ получения порошкообразных ферментных препаратов [Текст] / А.А. Шевцов, И.В. Черемушкина, А.И. Ключников и др. – Заявл. 07.11.2012.

6 Черемушкина, И.В Оптимизация условий биосинтеза β -маннаназы грибного происхождения [Текст] / И.В. Черемушкина, Н.А Некрасова, С.Н. Черняева и др. // Вестник ВГУИТ. – 2013. - № 2. – С. 206-210.

7 Шевцов, А.А. Использование инулиназы в производстве диетических продуктов питания [Текст] / А.А. Шевцов, И.В. Тертычная, Т.Н. Тертычная // Материалы международной научно-практической конференции «Состояние, проблемы и перспективы производства и переработки сельскохозяйственной продукции», Уфа. - 2011. - С. 355-357.

8 Шаргут, Я. Эксергия [Текст] / Я. Шаргут, Р. Петела. – М.: Энергия, 1968. – 284 с.

9 Патент 2480520 Способ управления процессами получения и сушки ферментных препаратов [Текст] / А.А. Шевцов, И.В. Мажулина, Т.Н. Тертычная. – Заявл. 27.04.2013, Бюл. № 12.

10 Богословский, С.В. Физические свойства газов и жидкостей [Текст] / С.В. Богословский. – СПб.: СПбГУАП, 2001. – 73 с.

11 Варгафтик, Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей [Текст] / Н.Б. Варгафтик. – М.: Наука, 1972. – 720 с.

12 Янговский, Е.И. Потоки энергии и эксергии [Текст] / Е.И. Янговский. – М.: Наука, 1988. – 144 с.

13 Мревлиашвили, Г.М. Низкотемпературная калориметрия биологических макромолекул [Текст] / Г.М. Мревлиашвили // Успехи физических наук. – 1979. – Т. 128. - № 2. – С. 273-312.

14 Озаренко, О.А. Моделирование процессов периодического культивирования микроорганизмов [Текст]: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.23. - Щелково, 2004. - 111 с.

15 Бамбушек, Е.М. Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин [Текст] / Е.М. Бамбушек, Н. Н. Бухарин, Е. Д. Герасимов и др. — Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1987. - 423 с.

REFERENCES

1 Kafarov, V.V. Modeling of biochemical reactors [Text] / V.V. Kafarov, A.U. Vicarev, L.S. Gordeev. - M.: Lesnaya promyshlennost, 1979. - 344 p.

2 Patent 2484129 Process for producing biomass aerobic microorganisms [Text] / O.S. Korneeva, A.A. Shevtsov, I.V. Cheremushkina et al. - Appl. 10.06.2013, Bull. № 16.

3 Shevtsov, A.A. Mathematical software process Spirulina microalgae cultivation in photobioreactor film type [Text] / A.A. Shevtsov,

A.V. Drannikov, N.Y. Sitnikov et al // Biotechnology. - 2013. - № 2. - P. 87 - 94.

4 Shevtsov, A.A. Managing energy efficiency biotechnology obtain enzyme preparations on the basis of vapor compression heat pump [Text] / A.A. Shevtsov, I.V. Mazhulina // Automation and modern technology. - 2013. - № 7. - P. 9 - 13.

5 Patent 2012147129 A process for preparing powdered enzyme preparations [Text] / A.A. Shevtsov, I.V. Cheremushkina, A.I. Kluchnikov et al. - Appl. 07.11.2012.

6 Cheremushkina, I.V. Optimization of the biosynthesis of β -mannanase of fungal origin [Text] / I.V. Cheremushkina, N.A. Nekrasova, S.N. Chernyaeva et al // Bulletin of VSUET. - 2013. - № 2. - P. 206-210.

7 Shevtsov, A.A. The use of inulinase in the production of dietary foods [Text] / A.A. Shevtsov, I.V. Tertychnaya, T.N. Tertychnaya // International scientific-practical conference "The status, problems and prospects of production and processing of agricultural products", Ufa. - 2011. - P. 355-357.

8 Shargut, J. Exergy [Text] / J. Shargut, R. Petela. – М.: Energiya, 1968. - 284 p.

9 Patent 2480520 Method of controlling the processes of obtaining and dry enzyme preparations [Text] / A.A. Shevtsov, I.V. Mazhulina, T.N. Tertychnaya. - Appl. 27.04.2013, Bull. №12.

10 Bogoslovski, S.V. The physical properties of gases and liquids [Text] / S.V. Bogoslovski. - SPb.: SPbSUAI, 2001. - 73 p.

11 Vargaftik, N.B. Handbook of thermophysical properties of gases and liquids [Text] / N.B. Vargaftik. – М.: Nauka, 1972. - 720 p.

12 Yantovsky, E.I. Flows of energy and exergy [Text] / E.I. Yantovsky. – М.: Nauka, 1988. - 144 p.

13 Mrevliashvili, G.M. Low-temperature calorimetry of biological macromolecules [Text] / G.M. Mrevliashvili // Successes of physical sciences. - 1979. - V. 128. - № 2. - P. 273-312.

14 Ozarenko, O.A. Modeling of processes - batch culture of micro-organisms [Text]: dis. ... PhD: 03.00.23. - Schyolkovo, 2004. - 111 p.

15 Bambushek, E.M. Thermal and structural calculations chillers [Text] / E.M. Bambushek, N.N. Bukharin, E.D. Gerasimov et al. - L.: Mashinostroenie. Leningradskoe otdelenie, 1987. - 423 p.

Аспирант С.В. Кирьянова, доцент Д.А. Черенков,
аспирант А.А. Толкачева, профессор О.С. Корнеева
(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра биохимии и биотехнологии,
тел. (473) 255-38-51

Получение рекомбинантной α -L-фукозидазы (alfB)

В данной работе ген α -L-фукозидазы (AlfB), амплифицированный с помощью ПЦР, был клонирован в составе векторной плазмиды pet23b+ по сайтам *EcoRI* - *XhoI*. Экспрессия гена происходила в клетках *Escherichia coli* top 10 под контролем T7-промотора. Был получен штамм-продуцент рекомбинантного белка α -L-фукозидазы, в результате оптимизации условий действия фермента были определены оптимальные значения pH и температуры.

In this study the gene α -L-fucosidase (AlfB), amplified by PCR was cloned in the vector plasmid pet23b + sites for *EcoRI* - *XhoI*. Gene expression occurred in the cells of *Escherichia coli* top 10 under the control of the T7 promoter. The strain-producer recombinant protein α -L-fucosidase was obtained, optimum values of pH and temperature was determined by optimizing the conditions of the enzyme action.

Ключевые слова: α -L-фукозидаза, клонирование, экспрессия, *Escherichia coli*.

α -L-фукозидазы (КФ 3.2.1.51) – ферменты, относящиеся к классу О-гликозидгидролаз, - расщепляют внутренние фукозидные связи в молекуле фукоидана – полисахаридах клеточных стенок бурых водорослей. Установлено, что образующиеся в результате ферментативного гидролиза фуко-олигосахариды и моносахарид фукоза обладают пребиотическим, иммуностимулирующим действием, а также влияют на репродуктивную функцию живого организма. Поэтому актуальным является создание на их основе лечебно-профилактических средств с иммуностимулирующими свойствами и препаратов, нормализующих и повышающих репродуктивную способность млекопитающих [1].

Сведения о выделенных и охарактеризованных на сегодняшний день α -L-фукозидазах немногочисленны, большинство из них обладают низкой активностью и являются 1,2-экзофукозидазами, вследствие чего не способны гидролизовать фукоидан водорослей, содержащий преимущественно 1,3-, 1,4- и 1,6-фукозидные связи [2,3,4].

Достижения в области технологии молекулярного клонирования и геной инженерии позволяют решить данную проблему путем создания микроорганизмов с заданными генетическими характеристиками, что дает возможность повысить активность и выход целевого

фермента в сравнении с его выходом у нативного продуцента [5]. Наиболее перспективным подходом к получению высокоактивного препарата является создание продуцентов α -L-фукозидазы - рекомбинантных штаммов кишечной палочки, несущих клонированный ген alfB. На сегодняшний день в литературе имеются сведения о клонировании гена alfB в составе вектора pQE80, который экспрессировался в клетки *E. coli*. Также имеются сообщения о рекомбинантных α -L-фукозидазах из *Streptomyces* sp и *Bifidobacterium bifidum* [4,6,7].

Цель настоящего исследования заключалась в клонировании гена alfB с использованием вектора pet23b+, обеспечивающего экспрессию чужеродного гена под контролем T7-промотора и получение рекомбинантного фермента α -L-фукозидазы. Донором ДНК для амплификации гена alfB служил штамм *Lactobacillus rhamnosus* 12L, который используется для приготовления биологически активных добавок, бактериальных препаратов, нормализующих микрофлору кишечника у детей первого года жизни. Штамм получен из Всероссийской Коллекции Промышленных Микроорганизмов, ГосНИИгенетика, Москва. Для отбора рекомбинантных плазмид использовали штамм *Escherichia coli* top 10. В качестве вектора для клонирования использовали плазмиду pet 23 b(+) (Novagen, США). Скрининг трансформированных клеток *E.coli* top 10, несущих

плазмиду pet 23 b(+) с клонированным фрагментом ДНК, проводили по устойчивости полученного штамма к ампициллину в концентрации 100 мкг/мл. Отобранные в результате скрининга колонии выращивали методом глубинного культивирования в орбитальном шейкере-инкубаторе на питательной среде LB, содержащей ампициллин, в течение 6 часов, затем производили индукцию синтеза белка путем добавления IPTG.

Выделение хромосомной и плазмидной ДНК проводили с помощью набора GeneJet Plasmid Midiprep Kit. Рестрикцию, лигирование, электрофорез в агарозном геле, ПЦР проводили по стандартным методикам [5].

Последовательность нуклеотидов гена *alfB* *Lactobacillus rhamnosus* 12L была получена из базы данных NCBI. Кодировующую часть гена α -L-фукозидазы *L. rhamnosus* амплифицировали при помощи ПЦР, используя праймеры EcoR1: 5' – ctatgaattcatggtaaaccatcacctgtc – 3', Xho1: 5' – tacactcgagtgtaacgatcactaagttgctgc – 3' и хромосомную ДНК *L. rhamnosus* 12L в качестве матрицы. Полученный фрагмент клонировали в векторе pet 23 b (+) по сайтам рестрикции EcoR1 и Xho1. Конструирование праймеров для амплификации клонируемого фрагмента ДНК осуществляли с помощью пакета программы Vector NTI.

ДНК плазмиды и амплификат гена *alfB* расщепляли эндонуклеазами рестрикции EcoR1 и Xho1 (Fermentas) в течение 24 ч в буфере Tango. Линейную форму плазмиды и амплификат после рестрикции очищали электрофорезом в 0,7 %-ном агарозном геле и лигировали с использованием ДНК-лигазы T4 (Fermentas) согласно рекомендациям изготовителя. Лигазной смесью трансформировали компетентные клетки *E. coli* top 10, обработанные хлористым кальцием. Трансформанты высевали на агаризованную среду LB, содержащую 100 мкг/мл ампициллина. Посевы культивировали при 37 °C в течение 12 ч. Отбирали ампициллинрезистентные колонии и определяли присутствие гена *alfB* с помощью праймеров для детекции гена. Из позитивных клонов выделяли плазмидную ДНК и подтверждали наличие в ней вставки гена *alfB* рестрикцией EcoR1 и Xho1 с последующим электрофорезом в агарозном геле.

Активность α -L-фукозидазы определяли по изменению количества свободной фукозы в пробе по методу Дише [8], основанному на способности фукозы при кипячении с сильными минеральными кислотами образо-

вывать 5-метилфурфурол, в отличие от других гексоз, благодаря чему возможно ее дифференцированное определение.

Реакционную смесь, состоящую из 1 мл водного раствора фукоидана с массовой долей 1 % и 1 мл раствора фермента α -L-фукозидазы, инкубировали при температуре 30 °C в течение 1 ч. Через один час гидролиза реактивную смесь фильтровали и разбавляли водой в 20 раз. Затем 1 мл пробы помещали в водяную баню и ставили в морозильник до образования корочки льда. Приливали 4,5 мл H₂SO₄, разведенной дистиллированной водой (1 часть дистиллированной воды – 6 частей H₂SO₄ конц.), перемешивали и оставляли на 10 мин при комнатной температуре. Помещали пробу в кипящую водяную баню на 3 минуты, охлаждали проточной водой. Добавляли 0,1 мл 3 %-го раствора солянокислого цистеина, перемешивали и оставляли на 1,5 ч при комнатной температуре. Измеряли оптическую плотность растворов на спектрофотометре против контроля при длине волны 396 нм (все сахара) и 430 нм (все сахара, кроме метилпентоз). В качестве контроля использовали инактивированный фермент α -L-фукозидазы.

За единицу активности α -L-фукозидазы принимали такое количество фермента, которое образует 1 мМоль фукозы за 1 мин в стандартных условиях.

С целью оптимизации условий действия фермента было исследовано влияние pH среды и температуры на активность целевого фермента, продуцируемого генетически модифицированным штаммом *E. coli* top 10.

Оптимальные значения параметров действия фермента определяли следующим образом: проводили глубинное культивирование рекомбинантного штамма-продуцента α -L-фукозидазы в качалочных колбах емкостью 750 см³, содержащих по 250 см³ питательной среды заданного состава, варьируя значения необходимых параметров.

Для выращивания рекомбинантного штамма *E. coli* top 10 использовали среду Лурия-Бертани (среда LB) следующего состава, %: пептон – 1, дрожжевой экстракт – 0,5, NaCl – 0,5, pH 7.0. Среду стерилизовали в течение 30 минут при 0,8 МПа, охлаждали до 30 °C и засевали бактериальной культурой. Различные значения pH среды устанавливали добавлением 1 н HCl или NaOH.

Таким образом, в ходе работ был получен штамм-продуцент рекомбинантного белка α -L-фукозидазы и определены оптимальные условия действия фермента. В результате скрининга бактериальных штаммов из коллекции

микроорганизмов ВКПМ ГосНИИгенетика в качестве источника целевого гена α -L-фукозидазы был выбран штамм *Lactobacillus rhamnosus* 12L. Выделенный из данного штамма необходимый участок ДНК использовали в качестве матрицы для амплификации гена α -L-фукозидазы с помощью полимеразной цепной реакции, для чего на основе анализа имеющейся в базе данных NCBI нуклеотидной последовательности гена α -L-фукозидазы (AlfB, protein_id="ZP_03212876.1") сконструировали

праймеры Fp-1 (ctatgaattcatggttaaacatcacctgtc, подчеркнут сайт для рестриктазы *EcoRI*) и Rp-1 (tacactcgagttaacgatcactaagttgctgc, подчеркнут сайт для рестриктазы *XhoI*).

Ожидаемый размер продукта амплификации для гена α -L-фукозидазы равен 45 кДа. В процессе амплификации с праймерами Fp-1 и Rp-1 был получен фрагмент ДНК, соответствующий данному размеру, что подтверждается результатами электрофоретического анализа (рисунок 1).

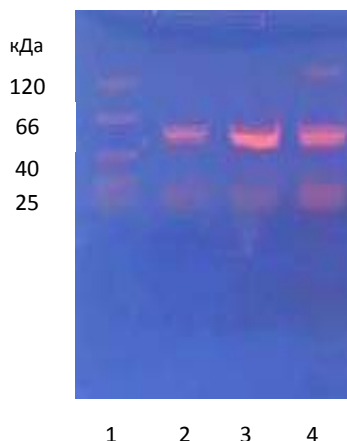


Рисунок 1 – SDS-ПААГ - электрофореграмма продуктов амплификации.
1 - белки-стандарты молекулярной массы (сверху вниз - 120 кДа, 66 кДа, 40 кДа, 25 кДа)
2,3,4 - продукты амплификации

Для клонирования в качестве вектора был выбран экспрессионный вектор pet23b+, предназначенный для экспрессии рекомбинантных белков в *E. coli* и содержащий в своем составе ген резистентности к ампициллину. Ген α -L-фукозидазы перенесли в вектор экспрессии pet23b+ по сайтам рестриктаз *EcoRI*-*XhoI*. Полученной рекомбинантной плазмидой были трансформированы клетки *E. coli* top 10.

Отобранные генетически модифицированные клетки *E. coli* top 10, содержащие плазмиду с геном α -L-фукозидазы, инкубировали с синтетическим аналогом лактозы - ИПТГ для индукции экспрессии гена AlfB. После индукции наблюдалось накопление в бактериальных клетках белка соответствующей молекулярной массы (45 кДа) (рисунок 2).

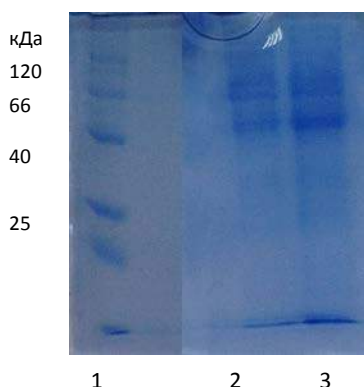
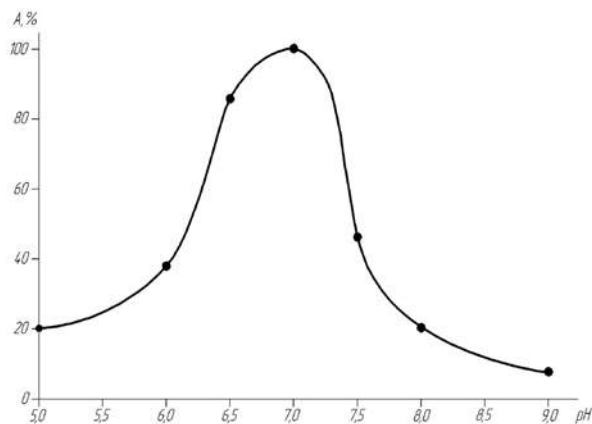


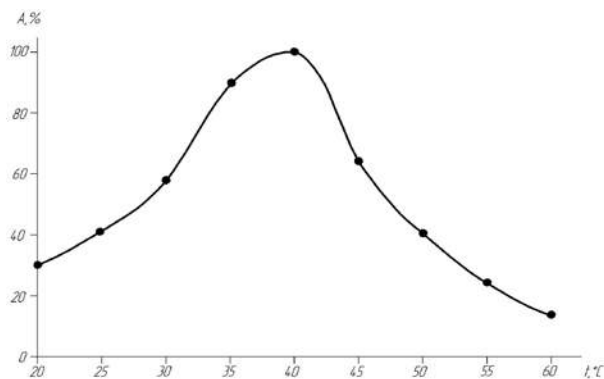
Рисунок 2 – SDS-ПААГ-электрофореграмма клеточных белков генетически модифицированных бактерий *E. coli* top 10
1 - белки-стандарты молекулярной массы (сверху вниз - 120 кДа, 66 кДа, 40 кДа, 25 кДа)
2 - клеточные белки белков генетически модифицированных бактерий *E. coli* top 10 без индукции IPTG
3 - клеточные белки белков генетически модифицированных бактерий *E. coli* top 10 через 5 часов после индукции IPTG в концентрации 0,1 μmol

Далее была определена область оптимальных значений pH и температур, при которых полученная рекомбинантная α -L-фукозидаза проявляет максимальную активность. Изменение активности α -фукозидазы в зависимости от концентрации ионов водоро-

да представлено на рисунке 3а. Из графика следует, что для α -фукозидазы *E. coli top 10* оптимум действия лежит в области значений pH 7,0. При pH 9,0 фермент почти полностью терял каталитическую активность.



а)



б)

Рисунок 3 – Зависимость активности α -фукозидазы (% от максимальной) а) от величины pH при температуре 40 °C; б) от температуры при оптимальной величине pH.

На рисунке 3б представлена зависимость активности α -фукозидазы от температуры, которая описывается колоколообразной кривой. Такой характер влияния температуры на активность фермента связан с действием двух факторов: с одной стороны, с увеличением температуры возрастала скорость ферментативной реакции, а с другой – происходила инактивация фермента, вследствие денатурации белка, что приводило к непрерывному уменьшению концентрации активного фермента.

Наиболее интенсивным действием α -фукозидазы обладала при температуре 40 °C, отклонение температуры на 10 °C от оптимального значения приводило к снижению активности на 60 и 40 % соответственно.

В результате проведенной работы нами сконструированы рекомбинантные плазмиды на основе вектора pet23b+, способные к эффективной экспрессии клонированного гена α -L-фукозидазы (*AlfB*) в *E. coli* под контролем T7-промотора. Установлены оптимальные условия действия полученного рекомбинантного фермента. Данные исследования послужат основой для дальнейшей работы по получению стабильного промышленного генно-инженерного штамма *E. coli top 10* - активного продуцента α -L-фукозидазы.

Работа выполнена в рамках НИОКР по программе У.М.Н.И.К. (ГК № 12128р/20823 от 29.07.2013 г.) и ФЦП " Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы" (ГК № 14.512.11.0069 от 17.04.2013 г.).

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Черенков, Д.А. Фукоза: биологическая роль, пути получения и перспективы применения [Текст] / Д.А. Черенков, Ю.А. Рыбаков, Т.В. Санина и др. // Биотехнология. - 2010. - №6. - С. 63-71.
- 2 Aminoff, D. Purification and general properties of 1,2 -L-fucosidase from *Clostridium Perfringens* [Text] / D. Aminoff, K. Furukawa // J. Biol. Chem. – 1970. – V. 245. – P. 1659-1669.
- 3 Kurimura, Y. Efficient production and purification of extracellular 1,2- α -L-fucosidase of *Bacillus* sp. K40T [Text] / Y. Kurimura // Biotechnol Biochem. - 1995. – V. 59. - № 4. – P. 589-594.
- 4 Katayama, T. Molecular cloning and characterization of *Bifidobacterium bifidum* 1,2- α -L-fucosidase (*AfcA*), a novel inverting glycosidase (Glycoside Hydrolase Family 95) [Text] / Katayama T. // J Bacteriol. – 2004. – V. 186. - № 15. – P. 4885–4893.

5 Sambrook, J. Molecular cloning [Text]: laboratory manual / J. Sambrook, E.F. Fritsch, T. Maniatis. - New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1989. - 452 p.

6 Rodriguez-Diaz, J. Utilization of natural fucosylated oligosaccharides by three novel alpha-L-fucosidases from a probiotic *Lactobacillus casei* strain [Text] / J. Rodriguez-Diaz, V. Monedero, M.J. Yebrá // *Appl. Environ. Microbiol.* - 2011. - V. 77. - P. 703-705.

7 Sano, M. Purification and characterization of alpha-L-fucosidase from *Streptomyces* species [Text] / M. Sano, K. Hayakawa, I. Kato // *J. Biol. Chem.* - 1992. - V. 267. - № 3. - P. 1522-1527.

8 Польшалина, Г.В. Определение активности ферментов [Текст]: справочник / Г.В. Польшалина, В.С. Чердынченко, Л.В. Римарева. - М.: ДеЛи принт, 2003. - 375 с.

REFERENCES

1 Cherenkov, D.A. Fucose : biological role, ways of obtaining and application prospects [Text] / D.A. Cherenkov, Y.A. Rybakov, T.V. Sanina, et al // *Biotechnology.* - 2010. - № 6. - P. 63-71 .

2 Aminoff, D. Purification and general properties of 1,2 -L-fucosidase from *Clostridium Perfringens* [Text] / D. Aminoff, K. Furukawa // *J. Biol. Chem.* - 1970. - V. 245. - P. 1659-1669.

3 Kurimura, Y. Efficient production and purification of extracellular 1,2-alpha-L-fucosidase of *Bacillus* sp. K40T [Text] / Y. Kurimura // *Biotechnol Biochem.* - 1995. - V. 59. - № 4. - P. 589-594.

4 Katayama, T. Molecular cloning and characterization of *Bifidobacterium bifidum* 1,2- α -l-fucosidase (AfcA), a novel inverting glycosidase (Glycoside Hydrolase Family 95) [Text] / Katayama T. // *J. Bacteriol.* - 2004. - V. 186. - № 15. - P. 4885-4893.

5 Sambrook, J. Molecular cloning [Text]: laboratory manual / J. Sambrook, E.F. Fritsch, T. Maniatis. - New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1989. - 452 p.

6 Rodriguez-Diaz, J. Utilization of natural fucosylated oligosaccharides by three novel alpha-L-fucosidases from a probiotic *Lactobacillus casei* strain [Text] / J. Rodriguez-Diaz, V. Monedero, M.J. Yebrá // *Appl. Environ. Microbiol.* - 2011. - V. 77. - P. 703-705.

7 Sano, M. Purification and characterization of alpha-L-fucosidase from *Streptomyces* species [Text] / M. Sano, K. Hayakawa, I. Kato // *J. Biol. Chem.* - 1992. - V. 267. - № 3. - P. 1522-1527.

8 Polygalina, G.V. Determination of enzyme activity [Text]: a guide / G.V. Polygalina, V.S. Cherednychenko, L.V. Rimareva. - M.: DeLee print, 2003. - 375 p.

Доцент А.Н. Яковлев, доцент С.Ф. Яковлева,
магистрант Т.С. Ковалева, магистрант А.А. Пешков
(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра биохимии и биотехнологии,
тел. (473) 255-55-57

Накопление побочных продуктов в процессе спиртового брожения

Изучено влияние pH сусла на накопление побочных продуктов брожения в бражке. Установлено, что при подкислении сусла до pH 4,5 создаются более благоприятные условия для жизнедеятельности дрожжей, сокращается продолжительность брожения, увеличивается выход спирта, улучшаются показатели бражки, снижается вероятность инфицирования бражки посторонней микрофлорой, содержание альдегидов уменьшается на 10-15%, высших спиртов – на 8-10%, глицерина – на 15-20%, а также наблюдается небольшое снижение содержания кислот и эфиров.

The influence of pH on the accumulation of by-products of fermentation in the mash was studied. Found that the acidification of musts to pH 4.5 created more favorable conditions for the yeast, reducing the duration of fermentation, increasing the amount of alcohol, improving indicators of mash, decreases the likelihood of infection mash, aldehyde content was reduced by 10-15%, higher alcohol – by 8-10%, 15-20% glycerol, and a slight reduction of acids and esters.

Ключевые слова: спиртовое брожение, глицерин, кислоты, альдегиды, эфиры, высшие спирты, pH сусла.

Современные технологии производства спирта из пищевого сырья направлены на то, чтобы получить максимально возможный выход готового продукта с минимальным содержанием примесей.

В обычных условиях спиртового брожения из гексоз под действием ферментов, наряду с этиловым спиртом, образуются побочные продукты: глицерин, кислоты, альдегиды, эфиры, высшие спирты и другие соединения.

Биосинтез побочных продуктов определяется регуляторными функциями дрожжевой клетки. Образование побочных продуктов зависит от состава питательной среды, pH, уровня азота и углерода в среде, условий культивирования дрожжей, присутствия посторонней микрофлоры.

Общее содержание примесей, образующихся в процессе брожения, не более 0,6% от количества этанола, но они оказывают влияние на вкус и запах спирта, а также уменьшают его выход [1,2].

Изучено влияние pH сусла на накопление побочных продуктов брожения в бражке.

Водородные ионы изменяют электрический заряд коллоидов плазменной оболочки клеток и, в зависимости от концентрации, могут увеличивать или уменьшать ее проницаемость

для отдельных веществ и ионов. От величины pH зависят скорость поступления питательных веществ в клетку, активность ферментов, образование витаминов. При изменении pH среды изменяется и направление самого брожения.

Приготовленное пшеничное сусло подкисляли серной кислотой до pH: 4,0; 4,5; 5,0 и контроль 6,0. Дрожжи вносили в количестве 10 % от объема сусла. Сбраживание сусла проводили дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* расы XII в течение трех суток при температуре 28-30 °С. По окончании срока брожения в полученной бражке определяли содержание глицерина йодометрическим методом и летучих примесей газохроматографическим методом.

На рисунке 1 показано влияние pH на накопление глицерина в зрелой бражке. Из рисунка 1 видно, что с увеличением pH содержание глицерина увеличивается и достигает максимума в контроле при pH 6,0. Эта закономерность объясняется тем, что реакция «щелочного брожения», ведущая к образованию глицерина, признана той побочной реакцией, торможение которой обуславливает повышение содержания спирта. Подкисляя сусло, воздействовали на реакцию «щелочного брожения». Это оказало тормозящее действие на реакцию образования глицерина в силу того, что исследуемая реакция подчиняется закону действующих масс, т. е. из-за установления ионного равновесия.

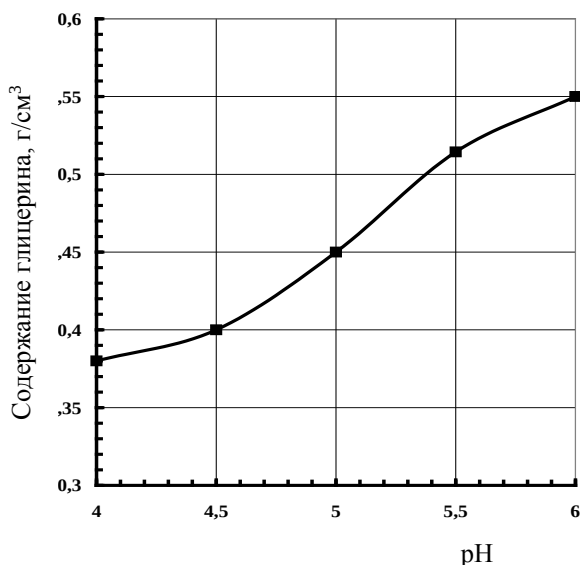


Рисунок 1 - Влияние pH суслу на накопление глицерина в зрелой бражке

Возможно искусственное подавление реакции «щелочного брожения» путем воздействия на нее продуктом реакции, т. е. уксусной кислотой, в расчете на то, что избыток ионов уксусной кислоты в среде окажет более мощное тормозящее действие на реакцию образования глицерина. [4] При внесении уксусной кислоты в сусло содержание глицерина в зрелой бражке снижается на 0,05 г/100 см³ и, тем самым, позволяет увеличить выход спирта.

При изучении динамики накопления глицерина (рисунок 1) было установлено, что интенсивное образование глицерина наблюдается в первый период брожения - возбуждение, когда наблюдается интенсивное размножение дрожжей. В дальнейшем, в процессе брожения образования глицерина практически не наблюдается. Это происходит в результате того, что образуется ацетальдегид, который оказывает тормозящее действие на реакцию образования глицерина.

По мере снижения pH суслу до 4,5 содержание альдегидов уменьшается на 10-15 % (рисунок 2), высших спиртов – на 8-10 % (рисунок 3), глицерина – на 15-20 % (рисунок 1), а также наблюдается небольшое снижение содержания кислот и эфиров.

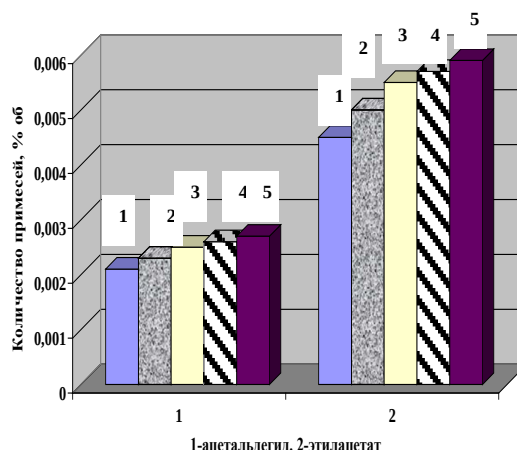


Рисунок 2 - Накопление ацетальдегида и этилацетата в зрелой бражке в зависимости от pH: 1 – 4,0; 2 – 4,5; 3 – 5,0; 4 – 5,5; 5 – 6,0.

Альдегиды являются промежуточными продуктами спиртового брожения, кроме того, образование альдегидов возможно в результате окисления спиртов кислородом воздуха, а также некоторых вторичных реакций. Образование альдегидов в зрелой бражке наблюдается на протяжении всего процесса брожения, только к окончанию процесса брожения наблюдается некоторое снижение содержания альдегидов, что, возможно, связано с взаимодействием их со спиртами [1,2].

Эфиры являются продуктами химического взаимодействия спиртов и кислот, содержащихся в бродящей массе, а также являются продуктами жизнедеятельности посторонней микрофлоры. Они накапливаются в бражке на протяжении всего процесса брожения [1,2].

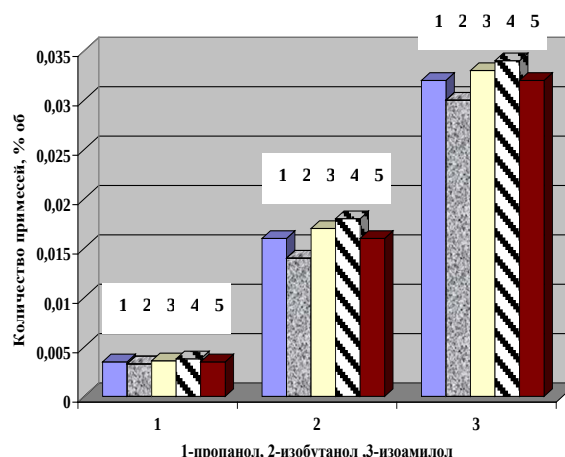


Рисунок 3 - Накопление пропанола, изобутанола и изоамилола в зрелой бражке в зависимости от pH: 1 – 4,0; 2 – 4,5; 3 – 5,0; 4 – 5,5; 5 – 6,0.

Высшие спирты являются побочными продуктами спиртового брожения. Они образуются в анаэробных условиях вторично из кетоислот, возникающих в результате переаминоирования аминокислот, путем декарбоксилирования и последующего восстановления в цикле спиртового брожения углеводов. Образование спиртов связано с накоплением биомассы дрожжей, которое наблюдается в начале процесса брожения в возбуживании, в дальнейшем, в процессе брожения накопления высших спиртов практически не наблюдается [3].

Т а б л и ц а 1

Показатели зрелой бражки

Показатели	рН				
	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
Объемная доля спирта, % об.	8,5	9,2	9,0	8,5	8,2
Содержание растворимых несброженных углеводов, г/100см ³	0,55	0,25	0,35	0,45	0,6
Содержание нерастворенного крахмала, %	0,1	0,08	0,08	0,08	0,1
Наращение титруемой кислотности, °	0,1	0,1	0,12	0,15	0,2
Выход спирта, дал/т условного крахмала	66,0	66,4	66,2	66,0	65,8
Продолжительность брожения, ч	72	66	68	70	72

Из таблицы 1 видно, что максимальный выход спирта наблюдается при подкислении суслу до рН 4,5 и на 0,6 дал выше, чем в контроле при рН суслу 6,0. Это связано с уменьшением образования побочных продуктов брожения, уменьшением содержания несброженных растворимых углеводов, снижением накопления биомассы дрожжей.

Таким образом, подкисляя сусло до рН 4,5, создаем более благоприятные условия для жизнедеятельности дрожжей, что способствует сокращению продолжительности брожения, увеличению выхода спирта, улучшению показателей бражки, снижению вероятности инфицирования бражки посторонней микрофлорой, уменьшению накопления примесей в зрелой бражке, что в дальнейшем позволяет получить готовую продукцию высокого качества.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Яровенко, В.Л. Технология спирта [Текст] / В.Л. Яровенко, В.А. Маринченко, В. А. Смирнов. – М.: Колос, 2002. – 464 с.
- 2 Ресурсосберегающая технология в производстве спирта [Текст] / под ред. Н.С.Терновского. – М.: Пищевая промышленность, 1994. – 120 с.
- 3 Веселов, И.Л. Синтез аминокислот и образование высших спиртов при брожении [Текст] / И.Л. Веселова, А.Г. Канн, И.М. Грачева // Ферментная и спиртовая промышленность. - 1975. - №8. - С. 7.
- 4 Утенкова, В.А. О выходе спирта при дрожжевом брожении [Текст] / В.А. Утенкова, Е.К. Кардо-Сысоева // Микробиология. 1954. – Т.23.- № 3. - С. 304-312.

REFERNCES

- 1 Jarovenko, V.L. Technology alcohol [Text] / V.L. Jarovenko, V.A. Marinchenko, V.A. Smirnov. – M.: Kolos, 2002. – 464 p.
- 2 Resource-saving technology in the production of alcohol [Text] / ed. By N.S. Ternovskogo. – M.: Pischevaya promyshlennost, 1994. – 120 p.
- 3 Veselov, I.L. The synthesis of amino acids and the formation of higher alcohols by fermentation [Text] / I.L. Veselov, A.G. Cann, I.M. Gracheva // Enzyme and the alcohol industry. - 1975. - № 8. - P. 7.
- 4 Utenkova, V.A. On the alcohol yield in yeast fermentation [Text] / V.A. Utenkova, E.K. Cardio-Sysoeva // Microbiology. - 1954. - V.23. - № 3. - P. 304-312.

Профессор Н.Г. Кульнева, аспирант М.В. Журавлев,
соискатель О.Г. Пихунова, студент К.А. Пармонова
(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра технология бродильных и сахаристых
производств тел. (473) 255-07-51

Обоснование схемы с отделением осадка несахаров до основной очистки в свеклосахарном производстве

На основе исследования структуры дефекационно-карбонизационных осадков обоснована целесообразность отделения осадка несахаров перед основной дефекацией, определены оптимальные параметры процесса.

Based on studies of the structure of defecation-carbonated precipitation proved the feasibility of separating a liquid non-sugars before the main defecation, the optimal process parameters are identified.

Ключевые слова: свеклосахарное производство, отделение преддефекованного осадка, дисперсность суспензий, глубокая карбонизация.

Большую роль в технологической схеме очистки диффузионного сока свеклосахарного производства играет предварительная дефекация, целью которой является осаждение несахаров и формирование структуры осадка с необходимыми свойствами.

Особенно возрастает значение предварительной дефекации и других способов обработки диффузионного сока при отделении осадка несахаров до основной дефекации. Отделение осадка после предварительной дефекации в связи с его неустойчивостью в условиях высокой щелочности и температуры основной дефекации является одним из актуальных направлений повышения эффективности очистки диффузионного сока известью и карбонатом кальция.

Предлагаемая схема отличается от типовой схемы тем, что после проведения преддефекации для улучшения фильтрационно-седиментационных свойств осадка проводится предварительная сатурация сока и его отделение. Отделение осадка преддефекованного сока даёт возможность использовать карбонат кальция для адсорбционной очистки сока лишь от тех несахаров, которые не осаждаются на преддефекации. Удаление преддефекационно-карбонизационного осадка позволяет экономить известь на стадии основной дефекации (до 0,5 % CaO к массе сока) и дефекации перед II сатурацией при её исключении.

Задачами исследования были: изучение структуры осадков при различных способах начального этапа очистки диффузионного сока, определение оптимального количества возвращаемой суспензии сока I сатурации и рационального расхода извести на основной дефекации.

Для выбора оптимального способа предварительной обработки диффузионного сока проводили теплую преддефекацию при температуре 50-55 °С в течение 15 мин с добавлением различного количества нефильтрованного сока I сатурации (50 и 100 %). В полученный сок вводили известковое молоко до pH 11,2 и далее обрабатывали по различным схемам. Типовая схема 1 ограничивалась проведением прогрессивной предварительной дефекации с введением возврата и известкового молока. Схема 2 с частичной карбонизацией предусматривала обработку преддефекованного сока диоксидом углерода до pH 10,5. По схеме 3 с глубокой карбонизацией преддефекованный сок сатурировали до pH 8,0-9,0, добавляли 0,3 % оксида кальция и карбонизировали до pH 11,0. Полученный по схемам 2 и 3 сок фильтровали.

Преддефекованный сок по типовой схеме и фильтраты по схемам 2 и 3 подвергали тепло-горячей основной дефекации добавлением 2 % оксида кальция, I сатурации, фильтрованию, дефекации перед II сатурацией, II сатурации и отделению осадка.

Анализу подвергали преддефекованный сок после предварительной обработки и очищенный сок. Результаты анализа представлены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Качественные показатели очищенного сока, полученного при различных способах предварительной обработки

Показатель	Способ предварительной обработки		
	Типовая схема	Способ с глубокой карбонизацией	Способ с частичной карбонизацией
Чистота, %	87,1	88,9	88,5
Цветность, ед.опт.пл.	108,1	78,3	86,9
Массовая доля белков, мг/см ³	3,1	1,9	2,6
Массовая доля солей кальция, % CaO	0,025	0,017	0,02

Примечание: Чистота диффузионного сока 79,8 %

Экспериментально установлено, что при переработке долго хранившейся свеклы с низкой чистотой диффузионного сока предварительная обработка преддефекованного сока обеспечивает повышение эффективности удаления различных групп несахаров и увеличение чистоты очищенного сока [1].

Процессы, протекающие в условиях извлексково-углекислотной очистки диффузионного сока, отражаются на структуре осадков. Установлено, что седиментационные и фильтрационные свойства сока I сатурации в значительной степени зависят от качества перерабатываемой свеклы, т. е. качественного и количественного состава высокополимеров и других несахаров диффузионного сока, способа преддефекации и, в меньшей степени, от способа сатурации.

Предложен механизм образования агрегатов, состоящих из частиц коагулята высокополимеров и частиц CaCO_3 , связанных через ионы Ca^{2+} , позволяющий объяснить структуру преддефекованного и сатурационного осадков, их седиментационные и фильтрационные свойства.

При выяснении структуры агрегатов преддефекованного осадка исходили из того, что коагулят белков и пектиновых веществ с известью имеет отрицательный заряд. Размер частиц этого коагулята зависит от количества и способа добавления извести, pH и температуры, т.е. способа преддефекации.

Отрицательный заряд частиц коагулята диффузионного сока обусловлен наличием карбоксильных групп в молекулах белков и пектиновых веществ. Указанные выше высокополимеры дают с кальцием, как известно, плохо растворимые соединения. Объединение их в агрегаты можно объяснить образованием связи между карбоксильными группами отдельных частиц коагулята через ион Ca^{2+} . Предполагая такой механизм образования агрегатов, установили, что фильтрационные свойства осадка, состоящего из таких агрегатов, тем лучше, чем больше крупных частиц коагулята, соединенных в агрегат.

Образующиеся при сатурировании частицы CaCO_3 имеют положительный заряд и за счет электростатических сил будут взаимодействовать с отрицательно заряженными частицами преддефекованного осадка, образуя более крупные агрегаты. Такое взаимодействие связано с вытеснением гидратной воды с поверхности частицы CaCO_3 , т.е. происходит дегидратация, вследствие чего повышается гидрофобность.

При этом некоторая доля дегидратированных частиц CaCO_3 находится главным образом внутри агрегатов и способствует увеличению их жесткости и повышению относительной плотности, а тем самым улучшению седиментационных и фильтрационных свойств осадка. Подтверждением именно такой структуры агрегатов осадка сока I сатурации является отрицательная величина их электрокинетического потенциала. Если предположить, что при сатурации не происходит образования агрегатов, а только наблюдается наращивание кристаллов карбоната кальция на готовых центрах, как это иногда считают, то при многократном возврате сатурационного осадка получились бы частицы различных размеров, что привело бы к резкому ухудшению фильтрации.

Таким образом, предполагаемый механизм образования агрегатов на преддефекации и сатурации позволяет объяснить влияние различных факторов на структуру осадка, его седиментационные и фильтрационные свойства, наметить пути их улучшения.

Определяли дисперсность преддефекованных соков, обработанных по 2 схемам: с частичной карбонизацией преддефекованного сока до pH 10,5 и с глубокой карбонизацией (пересатурацией) преддефекованного сока до pH 8,5, добавлением 0,3 % CaO и карбонизацией до pH 11,0. Результаты исследования показаны на рисунках 1-2, в таблицах 2-3.

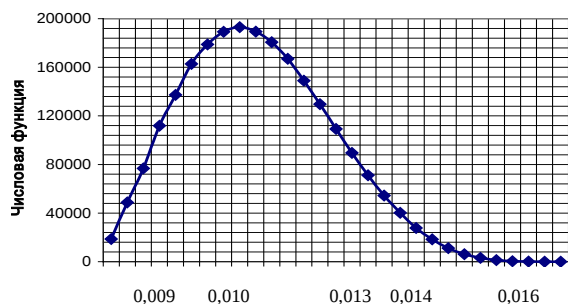


Рисунок 1 - Дисперсность преддефекованного сока по схеме с частичной карбонизацией сока после преддефекации

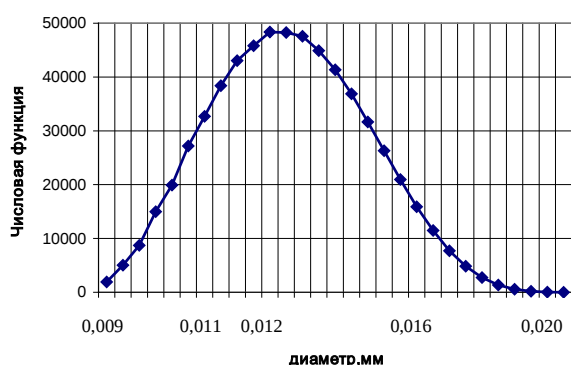


Рисунок 2 - Дисперсность преддефекованного сока по схеме с глубокой карбонизацией сока после преддефекации

Экспериментально установлено, что суммарное количество частиц больше в соке, обработанном по схеме с частичной карбонизацией, но диаметр частиц больше в соке, полученном по схеме с глубокой пересатурацией.

Т а б л и ц а 2

Фильтрационно-седиментационные показатели преддефекованного сока в зависимости от способа обработки

Показатель	Способ начальной обработки сока	
	С глубокой пересатурацией преддефекованного сока	С частичной карбонизацией преддефекованного сока
Фильтрационный коэффициент, $\text{см}^3/\text{с}$	3,2	7,9
Скорость седиментации S_5 , $\text{см}/\text{мин}$	1,1	0,6
Высота слоя осадка h_{25} , см^3	1,5	3

Более высокие фильтрационно-седиментационные и качественные показатели преддефекованного сока достигаются в способе с глубокой карбонизацией сока после преддефекации.

Т а б л и ц а 3

Качественные показатели преддефекованного сока после отделения осадка

Показатель	Способ предварительной обработки диффузионного сока	
	С глубокой пересатурацией преддефекованного сока	С частичной карбонизацией преддефекованного сока
Цветность, единиц оптической плотности	90,5	89,7
Массовая доля солей кальция, % CaO	0,027	0,049

При проведении предварительной дефекации использовали 100 % сока I сатурации к массе диффузионного сока. Результаты оценки дисперсности суспензий и качественных характеристик преддефекованного сока представлены на рисунках 3-4 и в таблице 4.

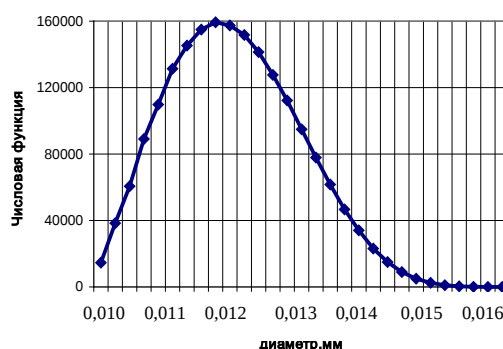


Рисунок 3 - Дисперсность преддефекосатурированного сока по способу с глубокой карбонизацией

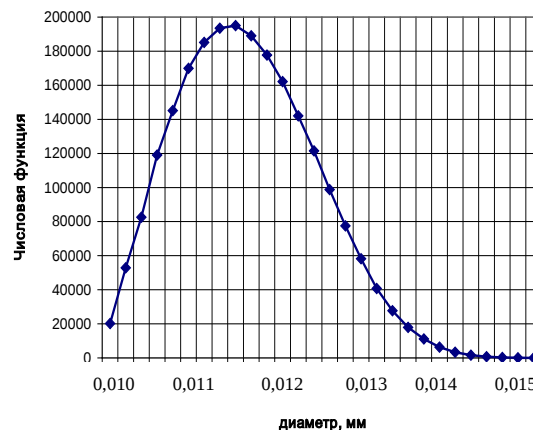


Рисунок 4 - Дисперсность преддефекованного сока, полученного по схеме с частичной карбонизацией

При использовании 100 % суспензии сока I сатурации выявлена такая же закономерность в дисперсности суспензий, что и при возврате 50 % нефильтрованного сока I сатурации.

Т а б л и ц а 4

Фильтрационные и седиментационные показатели преддефектованного сока

Показатель	Способ предварительной обработки диффузионного сока	
	С глубокой пересатурацией преддефектованного сока	с частичной карбонизацией преддефектованного сока
Фильтрационный коэффициент, $\text{см}^3/\text{с}$	6	20
Скорость седиментации S_5 , $\text{см}/\text{мин}$	1,5	0,9
Высота слоя осадка h_{25} , %	12,5	20

Установлено, что количество суспензии карбоната кальция, возвращаемой на предварительную дефекацию в качестве центров коагуляции высокомолекулярных несахаров, оказывает влияние на структуру осадка: при введении 50 % возврата повышается однородность осадка при способе с пересатурацией. Добавление 100 % суспензии карбоната кальция способствует формированию более однородного и крупного осадка, слабо гидратированного, с хорошими фильтрационными свойствами.

При рассмотрении вопросов, связанных с седиментационными и фильтрационными свойствами осадков сахарного производства, необходимо учитывать структуру и размер частиц осадка (рисунки 5-6).

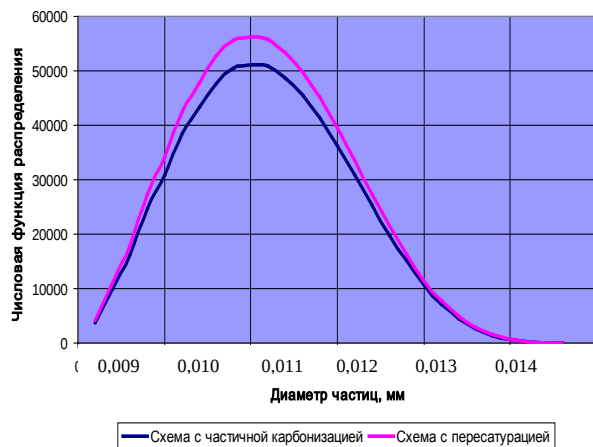


Рисунок 5 – Дисперсность осадка при введении 50 % суспензии на предварительную дефекацию

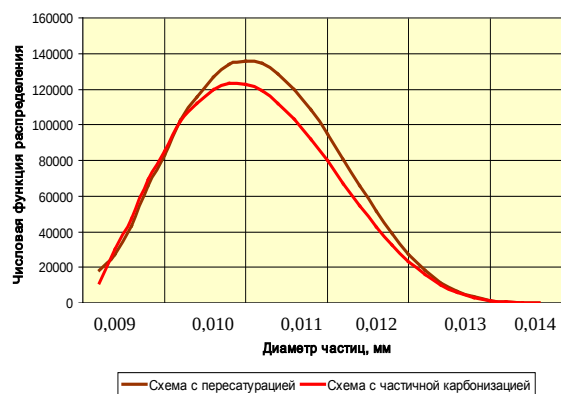


Рисунок 6 – Дисперсность осадка при введении 100 % суспензии на предварительную дефекацию

Общий эффект очистки диффузионного сока складывается из двух составляющих: осаждения несахаров при действии извести и адсорбции их на поверхности образовавшегося осадка карбоната кальция. Эти процессы напрямую связаны с одной из важнейших технологических характеристик дефекосатурационных осадков – дисперсностью.

Количественно дисперсность выражается тремя величинами: числом частиц, удельным числом частиц и удельной поверхностью. Чем однороднее суспензия по размеру частиц, тем меньше степень полидисперсности и лучше фильтрационно-седиментационные свойства осадка CaCO_3 ; чем меньше размер частиц, тем больше удельная поверхность и, следовательно, адсорбционные показатели (таблица 5).

Т а б л и ц а 5

Сравнительная оценка фильтрационных и седиментационных свойств сока I сатурации

Показатель	Способ обработки диффузионного сока	
	С пересатурацией преддефектованного сока	Типовой
Фильтрационный коэффициент, $\text{см}^3/\text{с}$	1,5	10,5
Скорость седиментации S_5 , $\text{см}/\text{мин}$	4,4	3,6

При проведении глубокой карбонизации улучшается структура преддефектованного осадка и осадка сока I сатурации, что обеспечивает более высокую скорость осаждения частиц. При этом уменьшается масса фильтрационного осадка и потери сахарозы в нем.

Проведение глубокой карбонизации преддефекованного сока повышает эффективность осаждения коллоидных и кристаллоидных соединений диффузионного сока, обеспечивает более полную дегидратацию осадка. За счет удаления несахаров, осажденных на начальном этапе очистки диффузионного сока, повышается качество преддефекованного и очищенного сока [2] (таблица 6).

Т а б л и ц а 6

Сравнительная оценка типового и предлагаемого способов при различном расходе оксида кальция на основную дефекацию

Показатели соков	Типовой способ	Способ с глубокой карбонизацией	
	2,5 % CaO	1,5 % CaO	2,0 % CaO
Сок после предварительной обработки			
Цветность, ед. опт. пл.	134,6	66,6	
Массовая доля белков, мг/см ³	0,27	0,15	
Массовая доля солей кальция, % CaO	0,252	0,168	
Очищенный сок			
Чистота, %	91,0	92,1	92,2
Цветность, ед. опт. пл.	66,7	42,3	41,3

При реализации предлагаемого способа, в отличие от типовой схемы, повышаются фильтрационно-седиментационные свойства преддефекованного сока и сока I сатурации, цветность сока снижается на 40-50 %, массовая доля солей кальция - на 20-25 %, чистота очищенного сока повышается на 1,0-1,2 %, эффект очистки на дефекосатурации увеличивается на 5-6 %, расход оксида кальция на очистку сока снижается на 0,5 - 1,0 % [3].

На основании полученных экспериментальных данных можно сделать вывод, что при очистке диффузионного сока по схеме с отделением преддефекосатурационного осадка эффективнее проводить глубокое пересатурирование преддефекованного сока с последующим подщелачиванием и карбонизацией.

ЛИТЕРАТУРА

1 Кульнева, Н.Г. Целесообразность отделения осадка несахаров перед основной дефекацией [Текст] / Н.Г. Кульнева, Г.А. Буклей, М.В. Журавлев и др. // Материалы I Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в пищевой и перерабатывающей промышленности», Краснодар. - 2012. - С. 786-788.

2 Кульнева, Н.Г. Повышение эффективности очистки диффузионного сока в свекло-сахарном производстве [Текст] / Н.Г. Кульнева, Г.А. Буклей, М.В. Журавлев. - Международный научно-исследовательский журнал. - 2013. - Ч.1. - № 4(11). - С. 99-101.

3 Кульнева, Н.Г. Разработка ресурсосберегающей технологии для сахарного производства [Текст] / Н.Г. Кульнева, М.В. Журавлев, Г.А. Буклей // Материалы международной научно-технической конференции «Адаптация технологических процессов к пищевым машинным технологиям», Воронеж. - 2012. - Ч. 3. - С. 139-141.

REFERENCES

1 Kulneva, N.G. Feasibility of dividing the cake in front of the main non-sugars defecation [Text] / N.G. Kulneva, G.A. Buckley, M.V. Zhuravlev et al // Materials of the I International Scientific-Practical Conference "Innovative technologies in food processing industry", Krasnodar. - 2012. - P. 786-788.

2 Kulneva, N.G. Improving the efficiency of juice purification in beet-sugar production [Text] / N.G. Kulneva, G.A. Buckley, M.V. Zhuravlev // The international research journal. - 2013. - V. 1. - № 4 (11). - P. 99-101.

3 Kulneva, N.G. Development resursosaving technologies for sugar production [Text] / N.G. Kulneva, G.A. Buckley, M.V. Zhuravlev // Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Adaptation processes in food mature technology", Voronezh. - 2012. - V. 3. - P.139-141.

УДК 664.1.039

Профессор В.А. Голыбин, доцент В.А. Федорук,
студент А.Н. Горохов

(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра технологии броидильных и сахарных
производств, тел. (473) 255-07-51

преподаватель О.С. Насонова

(ФГОУ СПО «Жердевский колледж сахарной промышленности»),
тел. (47535) 5-45-08

Повышение эффективности завершающего этапа известково-углекислотной очистки диффузионного сока

Обоснованы режимы технологических операций, позволяющие повысить эффективность использования гидроксида кальция в процессе очистки диффузионного сока.

Justified modes of technological operations, allowing to raise efficiency of using calcium hydroxide in the cleaning diffusion juice process.

Ключевые слова: очистка диффузионного сока, гидроксид кальция, двухступенчатая сатурация

Современная технологическая схема очистки известковым молоком и сатурационным газом, применяемая на свеклосахарных заводах, позволяет за счет реакций коагуляции, осаждения, адсорбции и других удалить только 25-35 % несахаров, содержащихся в исходном диффузионном соке [9]. Преобладающая часть оставшихся в очищенном соке растворенных несахаров в конечном итоге переходит в мелассу, на долю которой приходятся основные потери сахарозы в производстве (12-15 % и более к массе, введенной в составе свеклы, сахарозы).

В ранее выполненных исследованиях нами рекомендована последовательность технологических операций первого этапа известково-углекислотной очистки диффузионного сока [4]. Целью настоящего исследования явилось научно-практическое обоснование параметров технологических операций завершающего этапа известково-углекислотной очистки (ИУО) диффузионного сока.

Технологические операции современной физико-химической очистки диффузионного сока осуществляются не по принципу постепенной обработки жидких полупродуктов в оптимальных условиях для достижения максимальных эффектов очистки, а в неэффективных режимах работы аппаратов-реакторов неполного смешивания с большой дисперсией времени пребывания отдельных объемных

долей потока смеси сока с используемыми реагентами. Такие способы проведения операций не позволяют получить максимальный положительный результат по качеству очищенного сока, по величинам эффектов очистки (степени удаления несахаров), по фильтрационным показателям сатурационных соков.

Полный переход на всех сахарных заводах от периодических процессов очистки диффузионного сока (предварительная и основная дефекация, I и II сатурации) на непрерывные в односекционных аппаратах с низкой объемной активной щелочностью и ее неоднородным полем при наличии застойных зон не позволил повысить эффективность традиционных и повсеместно применяемых химических реагентов – известкового молока и сатурационного газа.

Наоборот, в исследованиях, выполненных при переработке сырья различного качества при осуществлении непрерывной сатурации в сравнении с периодической очищенный сок имел более высокое содержание солей-накипеобразователей, остаточных высокомолекулярных несахаров, характеризовался повышенной цветностью [6].

Отечественная схема ИУО диффузионного сока, включающая теплую прогрессивную предварительную дефекацию, теплогорячую основную дефекацию, I сатурацию, фильтрацию, дополнительную известковую обработку фильтрата сока, II сатурацию, фильтрацию имеет основной недостаток – относи-

Влияние отбора гидроксида кальция на качество сатурационных соков

Показатели сатурационных соков	Отбор СаО на дополнительную дефекацию, %			
	0,0	0,3	0,6	0,9
Сок I сатурации				
Скорость фильтрования, см ³ /мин см ²	2,79	1,58	1,41	1,28
Цветность, усл. ед. / 100 СВ	29,4	34,5	38,9	45,6
Сок II сатурации				
Цветность, усл. ед. / 100 СВ	42,3	37,4	40,2	44,3
Массовая доля солей кальция, % 100 СВ	0,37	0,35	0,41	0,43

тельно низкую эффективность реакций взаимодействия в отдельных аппаратах используемых химических реагентов с присутствующими несахарами [7]. Например, в периодических дефекаторах достигается степень разложения редуцирующих веществ (РВ), относящихся к наиболее вредным органическим несахарам диффузионного сока, 92 – 95 %, в то время как в непрерывных проточных аппаратах этот показатель не превышает 75 – 78 %. Известно, что остаточное содержание РВ в очищенном соке является критерием его термической устойчивости и по требованиям современной технологии должно составлять 0,020-0,025 % к массе сока. С учетом выполнения указанного норматива в действующих схемах известковой очистки для повышения степени распада указанных несахаров предусматривается применение двухступенчатой известковой обработки диффузионного сока [3].

Нами показано, что наряду с другими, главной задачей первого этапа очистки диффузионного сока является достижение нормативной степени термощелочной деструкции вредных несахаров (РВ и азотистых соединений) при высоком адсорбционном эффекте образовавшихся продуктов распада в условиях относительно высокой щелочности карбонизации гидроксида в процессе I сатурации [8]. Известно, что продукты распада несахаров, в частности красящие вещества, наиболее полно адсорбируются карбонатом кальция при высокой щелочности, соответствующей рН среды 11,0-11,3 [1].

При невыполнении этого важного условия однозначно ожидаемым является снижение эффекта очистки сока на завершающем этапе очистки при проведении II сатурации фильтрованного сока, что ухудшит качество очищенного сока.

Наиболее заметные отрицательные последствия незавершенного первого этапа очистки диффузионного сока проявляются при переработке сахарной свеклы пониженного качества, содержащей повышенные концентрации указанных вредных несахаров. В таблице 1 приведены экспериментальные данные по качеству сатурационных соков при неполном разложении РВ в процессе основной дефекации перед I сатурацией (степень распада 78 % вместо 95 %).

При отборе СаО на дополнительную дефекацию от 0 до 0,6 % качество очищенного сока по цветности значительно ниже, чем сока I сатурации. Лишь при увеличении расхода СаО на дополнительную дефекацию до 0,9 % намечилось некоторое снижение цветности очищенного сока в сравнении с соком I сатурации. Однако при этом фильтрационные показатели сока I сатурации ухудшились в два раза, массовая доля солей кальция возросла на 16 %. Приведенные экспериментальные данные подтверждают ранее приведенные рассуждения об определяющем влиянии качества сока I сатурации на эффективность завершающего этапа очистки сока.

Из данных таблицы 1 видно, что перенос адсорбционной очистки с I на II сатурации является нецелесообразным. Отбор 0,9 % СаО на вторую ступень адсорбционной очистки (а это более трети общего расхода извести на очистку диффузионного сока) не обеспечил эффективного удаления красящих веществ, что привело к получению очищенного сока с низкими показателями качества, из которого при его дальнейшей переработке невозможно будет получить белый сахар в соответствии с требованиями стандарта.

Для обеспечения оптимальных условий проведения завершающего этапа очистки, повышения эффекта удаления несахаров и снижения содержания кальциевых солей процесс II сатурации целесообразно проводить в две ступени при обоснованном расходе извести на дефекацию перед II сатурацией в интервале 0,25 – 0,45 % СаО с учетом качества свеклы с обязательным повторным использованием всей карбонатной суспензии на прогрессивной преддефекации (рисунок 1). Быстротечная предса-

турация гидроксида кальция (позиция 22, рисунок 1) в вертикальном восходящем потоке сока в состоянии интенсивной турбулизации способствует эффективной адсорбции красящих веществ на поверхности образующихся частиц карбоната кальция с положительным поверхностным зарядом. Нами показано, что в течение уже первых 12-15 с быстрой предсатурации

достигается эффект адсорбции красящих веществ 80-82 %, что в 1,4-1,6 раз превышает этот показатель в типовых сатураторах объемного типа. После предсатурации основная стадия II сатурации проходит непосредственно в сатураторе (позиция 5, рисунок 1) при оптимальном значении pH, что способствует максимальной декальцинации очищаемого сока.

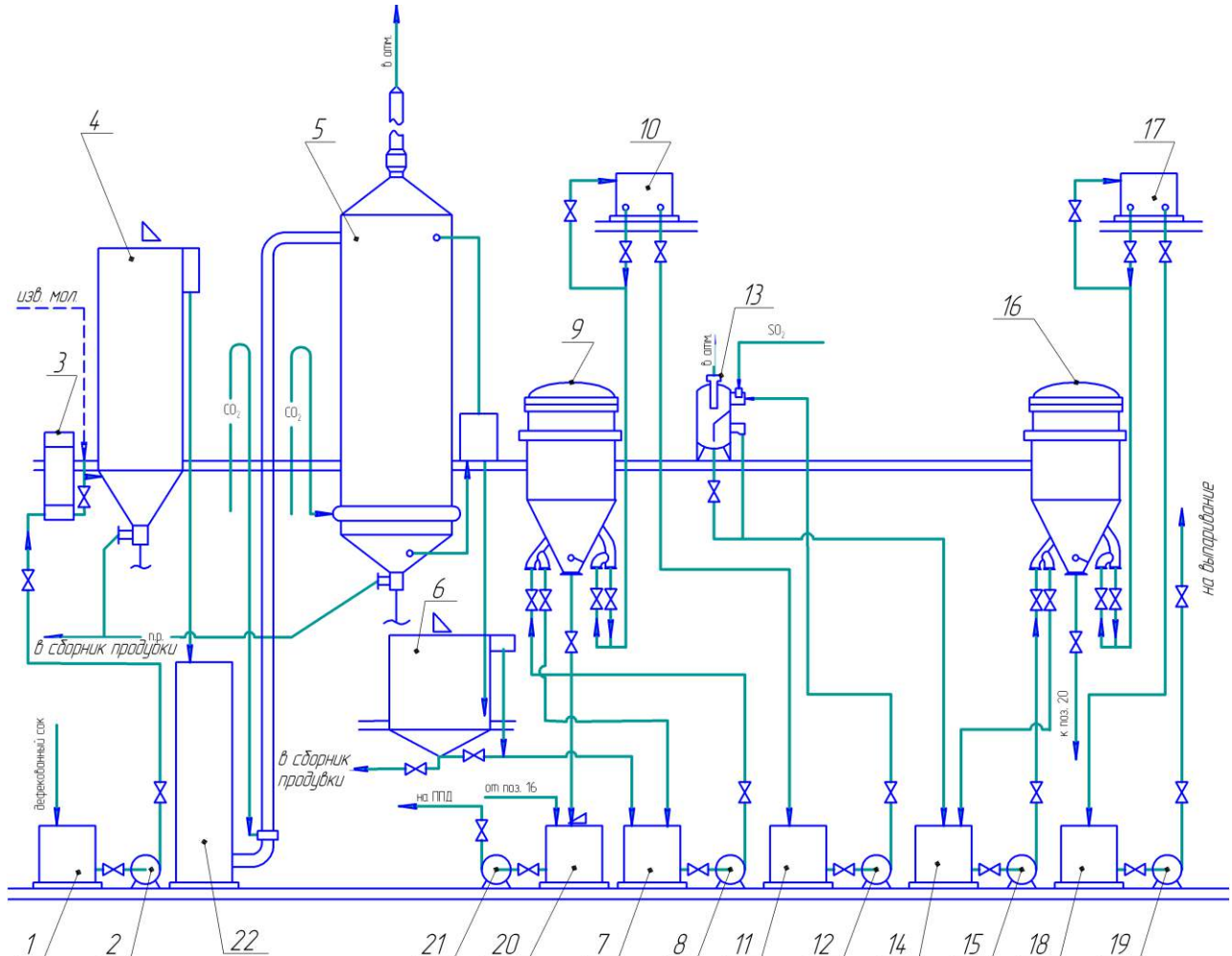


Рисунок 1 - Аппаратурно-технологическая схема завершающего этапа очистки диффузионного сока:

1 – сборник фильтрованного сока I сатурации, 2 – насос фильтрованного сока I сатурации, 3 – подогреватель, 4 – аппарат дополнительной дефекации, 5 – аппарат II сатурации, 6 – дозреватель сока II сатурации, 7 – сборник нефильтованного сока II сатурации, 8 – насос нефильтованного сока II сатурации, 9 – фильтр-сгуститель, 10 – напорный сборник, 11 – сборник фильтрованного сока II сатурации, 12 – насос фильтрованного сока II сатурации, 13 – сульфитатор жидкостно-струйный, 14 – сборник сульфитированного сока II сатурации, 15 – насос сульфитированного сока II сатурации, 16 – фильтр-сгуститель контрольного фильтрования, 17 – напорный сборник, 18 – сборник фильтрованного сока на выпаривание, 19 – насос фильтрованного сока на выпаривание, 20 – сборник суспензии сока II сатурации, 21 – насос суспензии сока II сатурации, 22 – быстротечный предсатуратор

При таком варианте сатурации нет необходимости увеличивать расход извести на дополнительную дефекацию с целью получения большего количества суспензии, возвращаемой на ППД, и уменьшения за счет этого возврата нефильтованного сока I сатурации (его сгущенной суспензии). Уменьшение расхода

известни на основную дефекацию приведет к заметному ухудшению адсорбционной очистки в условиях I сатурации. В результате часть введенного на дополнительную дефекацию оксида кальция при его карбонизации будет образовывать адсорбционную поверхность в условиях низкой щелочности II сатурации, где

эффект адсорбции красящих веществ значительно ниже.

Предлагаемый вариант двухступенчатой II сатурации способствует повышению на 25-30 % эффекта адсорбции карбонатом кальция, увеличению чистоты сока II сатурации, снижению на 15-18 % цветности очищенного сока. Это достигается за счет высокой дисперсности образующихся в процессе предсатурации частиц карбоната кальция, имеющих положительный электрокинетический потенциал.

Присутствие в поступающем на ИУО диффузионном соке значительных масс РВ вызывает на последующих операциях затруднения, обусловленные кальциевыми солями: интенсивное отложение накипи на поверхности теплообмена, ухудшение кристаллизации сахарозы, увеличение вязкости сгущенных сахарных растворов. Для снижения степени карбонатного пересыщения нами рекомендуется проводить дозревание сока II сатурации [2].

Были выполнены исследования по влиянию различных факторов ИУО на эффективность дозревания сока II сатурации. Диффузионный сок ($\text{Ч}=82,1\%$, $\text{РВ}=0,23\%$) очищали в лабораторных условиях по типовой схеме с дефекацией перед II сатурацией (вариант 1) и без нее (вариант 2). Расход CaO 100 % к массе несахаров сока. Осуществляли предварительную дефекацию путем возврата всей суспензии сока II сатурации. Сок после II сатурации при 82°C и pH_{20} 9,2-9,3 выдерживался при умеренной интенсивности перемешивания. В процессе дозревания в пробах сока определяли цветность и массовые доли солей кальция (таблица 2).

Т а б л и ц а 2

Влияние условий дозревания сока II сатурации на изменение его качественных показателей

Длительность, мин	Вариант 1		Вариант 2	
	Цветность, усл. ед.	соли кальция, %/100 СВ	цветность, усл. ед.	соли кальция, %/100 СВ
0	29,1	0,395	34,3	0,452
10	24,3	0,412	35,1	0,440
20	27,0	0,414	37,4	0,445
30	29,4	0,416	39,1	0,447
40	30,4	0,417	45,8	0,448

Дефекация перед II сатурацией (вариант 1) положительно сказалась на снижении цветности и солей кальция – в первые 15-20 мин выдержки цветность по вариант 1 снижалась, что подтверждает наличие остаточной адсорб-

ционной активности карбоната кальция. По варианту 2 цветность заметно (более чем на 30 %) нарастает, что можно объяснить продолжающимся процессом сокристаллизации частиц карбоната кальция с потерей ими противоионов (в т.ч. и красящих веществ), а также дефицитом активной поверхности. При проведении дефекации II (вариант 1) вследствие полидисперсности частиц карбоната кальция проходит перекристаллизация его микроструктур с увеличением доли более крупной фракции, что вызывает некоторое повышение присутствия солей кальция. В условиях состояния, близкого к изоионному, предпочтительнее выводятся молекулы и анионы красящих веществ, а при образовании карбоната кальция в присутствии избытка ионов Ca^{2+} образуются частицы с положительным ζ -потенциалом, что не способствует улучшению сорбции кальциевых солей. Приведенные данные подтверждают положительное влияние известковой обработки фильтрованного сока I сатурации – содержание солей кальция в соке II после дозревания ниже на 10 – 14 % в сравнении с очисткой по варианту 2.

По мнению отдельных исследователей, энергичное перемешивание в процессе дозревания сока II сатурации способствует снижению пересыщения карбоната кальция [5]. Однако в опубликованных источниках не приведены конкретные значения, характеризующие интенсивность перемешивания. Нами исследовано влияние частоты вращения мешалки (60; 600; 1000; 1500 мин^{-1}) в процессе дозревания сока II сатурации, что с учетом геометрических размеров соответствует величинам критерия Re – $0,53 \cdot 10^4$; $5,3 \cdot 10^4$; $8,8 \cdot 10^4$; $1,33 \cdot 10^5$. Очистке подвергали сок по варианту 1 с дополнительной дефекацией перед II сатурацией. В режиме дозревания без перемешивания цветность сока несколько повышалась, что объясняется низким уровнем гидродинамической обстановки, следовательно, недостаточной поверхностью массообмена частиц карбоната кальция, участвующих в адсорбционном удалении красящих веществ. При малой интенсивности перемешивания (критерий Re $0,53 \cdot 10^4$) цветность изменялась незначительно, поведение кальциевых солей не отличалось от ранее полученных результатов. При увеличении величины критерия Re до $5,3 \cdot 10^4$ произошло снижение цветности сока почти на 19 % и солей кальция на 4,7 %. Дальнейшее возрастание критерия Re до $8,8 \cdot 10^4$ и более вызывало увеличение цветности сока при отрицательном эффекте снижения содержания кальциевых солей.

Таким образом, повышенная интенсивность перемешивания в процессе выдержки сока ($Re > 6,5 \cdot 10^4$) неблагоприятно сказывается на показателях его качества. Повышение цветности и концентрации кальциевых солей можно объяснить интенсивными окислительными процессами, в том числе и сахарозы, за счет кислорода воздуха вследствие высокой турбулизации сока, а также возможным растворением микрочастиц карбоната кальция с переходом противоионов несахаров в раствор. Отрицательное влияние высокой интенсивности перемешивания особенно заметно сказывалось на сырье низкого качества, когда присутствие продуктов распада РВ и деструкции высокомолекулярных соединений затрудняло в процессе карбонизации формирование однородных частиц карбоната кальция.

Последней технологической операцией очистки диффузионного сока является обработка фильтрованного сока II сатурации диоксидом серы (сульфитация). При этом достигается некоторое обесцвечивание красящих веществ за счет их восстановления, снижается интенсивность образования новых окрашенных соединений вследствие блокирования карбонильных групп моносахаридов, происходит контролируемое снижение рН сока с целью минимизации распада сахарозы и нарастания цветности сока при его высокотемпературном сгущении. При установлении параметров осуществления этой операции следует подходить дифференцированно с учетом качества свеклы и химического состава несахаров.

Обязательным условием эффективной сульфитации является достижение в процессе II сатурации состояния, соответствующего оптимальной щелочности сока, что исключает присутствие в нем свободной известковой щелочности.

Проведение сульфитации сока целесообразно лишь для сатурационного сока с высокой натуральной щелочностью. При очистке диффузионного сока с низкой или отрицательной натуральной щелочностью сульфитировать сок II сатурации нельзя, так как сернистая кислота нейтрализует остаточную щелочность, что повысит содержание солей кальция в продуктах, ухудшит качество белого сахара, повысит потери сахарозы в мелассе. Сульфитация сока II сатурации также недопустима при высокой концентрации в нем нитритов, что является следствием интенсивного микробиологического инфицирования в диффузионном аппарате. Появляющиеся

в очищенном соке нитриты могут вступать во взаимодействие с сернистыми соединениями с образованием имидодисульфонов, что способствует увеличению содержания золы в очищенном соке, сиропе и белом сахаре. Известно, что показатель содержания золы в белом сахаре в соответствии с действующим отечественным стандартом существенно уступает европейским требованиям [10].

Таким образом, при проведении завершающего этапа очистки диффузионного сока при изменении качества поступающей на переработку свеклы следует корректировать режимы известковой обработки фильтрованного сока I сатурации (расход CaO , продолжительность дополнительной дефекации), осуществлять двухступенчатую II сатурацию с быстрой предсатурацией при повышенном значении рН, проводить дозревание нефильтрованного сока II сатурации с управляемой интенсивностью перемешивания, дифференцированно подходить к обоснованию как включения в работу процесса сульфитации сока, так и ее параметров.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Бобровник, Л.Д. Физико-химические основы очистки в сахарном производстве [Текст] / Л.Д. Бобровник. – Киев: Высшая школа, 1994. – 225 с.
- 2 Голыбин, В.А. О целесообразности выдержки сока II сатурации [Текст] / В.А. Голыбин, Ю.И. Зелепукин // Сахарная промышленность. – 1985. - № 9. – С. 33-35.
- 3 Голыбин, В.А. Совершенствование физико-химической очистки сахарных растворов [Текст] / В.А. Голыбин. – Воронеж: ВГТА, 1999. – 128 с.
- 4 Голыбин, В.А. Факторы эффективности операций первого этапа известково-углекислотной очистки диффузионного сока [Текст] / В.А. Голыбин, В.А. Федорук, М.А. Лавренова // Вестник ВГУИТ. - 2013. – № 2. – С. 182-187.
- 5 Захаров, К.П. Дозревание сока II сатурации [Текст] / К.П. Захаров, В.З. Семененко, Р.Г. Жижина и др. // Сахарная промышленность. – 1984. - № 9. – С. 15-18.
- 6 Мак-Джинис, Р.А. Технология свекло-сахарного производства [Текст] / Р.А.Мак-Джинис. – М.: Пищепромиздат, 1958. – 487 с.
- 7 Хомичак, Л.М. Повышение эффективности очистки диффузионного сока: теория и практика [Текст] / Л.М. Хомичак, И.Б. Петриченко и др. // Сахар. – 2010. - № 2. – С. 68-70.

8 Кульнева, Н.Г. Пути повышения эффективности получения и очистки производственных сахарсодержащих растворов [Текст] / Н.Г. Кульнева, В.А. Голыбин, В.А. Федорук и др. // Вестник ВГУИТ. – 2012. - № 1. – С. 165-170.

9 Рева, Л.П. Очистка диффузионного сока: пути совершенствования [Текст] / Л.П. Рева, Е. В. Ковдий // Сахар. – 2005. - № 5. – С. 30-36.

10 Чернявская, Л.И. WTO и проблемы качества сахара отечественных производителей [Текст] / Л.И. Чернявская // Сахар. – 2012. - № 9. – С. 18-22.

REFERENCES

1 Bobrovnik, L.D. Physical and chemical basis of purification in sugar production [Text] / L.D. Bobrovnik. - Kiev: Vysshaya shkola, 1994. – 225 p.

2 Golybin, V.A. On the expediency of holding juice II saturation [Text] / V.A. Golybin, Y.I. Zelepukin // Sugar industry. - 1985. - № 9. - P. 33-35.

3 Golybin, V.A. Improving physical and chemical purification of sugar solutions [Text] / V.A. Golybin. – Voronezh: VSTA, 1999. - 128 p.

4 Golybin, V.A. Factors operational efficiency of the first stage of lime-carbon dioxide

extract purification [Text] / V.A. Golybin, V.A. Fedoruk, M.A. Lavrenova // Bulletin of VSUET. - 2013. - № 2. - P. 182-187.

5 Zakharov, K.P. Maturation of carbonation juice II [Text] / K.P. Zakharov, V.Z. Semenenko, R.G. Zhizhina et al // Sugar industry. - 1984. - № 9. - P. 15-18.

6 Mc-Dzhinis, R.A. Technology of beet sugar production [Text] / R.A. Mc-Dzhinis. - Pishchepromizdat, 1958. - 487 p.

7 Homichak, L.M. Improving the efficiency of juice purification: theory and practice [Text] / L.M. Homichak, I.B. Petrychenko et al // Sugar. - 2010. - № 2. - P. 68-70.

8 Kulneva, N.G. Ways of improving efficiency of obtaining and purification of sugar solutions [Text] / N.G. Kulneva, V.A. Golybin, V.A. Fedoruk et al // Bulletin of VSUET. - 2012. - № 1. – P. 165-170.

9 Reva, L.P. Juice purification : ways to improve [Text] / L.P. Reva, E.V. Kovda // Sugar. - 2005. - № 5. - P. 30-36.

10 Chernjavskaja, L.I. WTO and the quality problems of domestic sugar producers [Text] / L.I. Chernjavskaja // Sugar. - 2012. - № 9. - P. 18-22.

УДК 338.1

Профессор Е.Л. Смольянова, аспирант И.А. Деревянкин,
(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра экономической теории и международного
бизнеса, тел. (473) 255-63-47
преподаватель Ю.А. Дудкин
(Воронежский институт МВД России) кафедры тактико-специальной подготовки,
тел. (473) 262-33-66

Оценка факторов инновационной активности по результатам мониторинга предприятий пищевой промышленности Воронежской области

Представлена оценка текущего состояния инновационной деятельности предприятий пищевой промышленности Воронежской области, которая является предпосылкой к формированию стратегии инновационного развития отраслевого предприятия и позволяет определить факторы инновационной активности.

Presents an assessment of the current state of innovation in enterprises of food industry Voronezh region, which is a prerequisite for the formation of the strategy of innovative development of industry enterprises and allows to determine the factors of innovation.

Ключевые слова: инновационная активность, мониторинг экономической ситуации.

Пищевая промышленность является одной из самых перспективных и быстро развивающихся отраслей промышленности. Сегодня производители должны выпускать обширный ассортимент товаров и создавать новые продукты, учитывая все возрастающие запросы потребителей. Чтобы выжить на мировом рынке необходимо развивать производство и сокращать затраты за счет повышения эффективности бизнеса, которая в условиях рыночной экономики во многом достигается за счет инновационного развития предприятий.

Воронежская область является крупнейшей и наиболее развитой в Центрально-Черноземном регионе России благодаря отраслям машиностроения и металлообработки, электроэнергетики, а также мощному сектору пищевой промышленности, на продукцию которой приходится около трети всего производства региона.

Пищевая промышленность в Воронежской области опирается на преимущества сельского хозяйства с одной стороны, и на достаточно обширный макрорегиональный рынок с другой стороны. Она представлена

предприятиями десятка различных отраслей общероссийского значения: мясной, сахарной, мукомольно-крупяной, молочной и масло-сыродельной, маслобойно-жировой, ликероводочной.

Крупнейшие современные мясоперерабатывающие предприятия находятся, безусловно, в областном центре, а также в городах Борисоглебск, Калач, Лиски, Россошь и Нововоронеж. В регионе действует 12 сахарных заводов: два Ольховатских, Лискинский, Перелешинский, Калачеевский, Эртильский, Елань-Коленовский, Рамонский, Хохольский, Нижнекисляйский, Грибановский и Садовский. В настоящее время продолжается строительство самого мощного, Бобровского, сахарного завода. Одно из самых старых производств - мукомольно-крупяная промышленность. Крупнейшие комбинаты расположены в Воронеже, Борисоглебске, Боброве, Калаче, Россоши, во всех областных райцентрах. Молокоперерабатывающие предприятия размещены практически во всех районах области. Крупнейшее из них - ОАО «Комбинат Воронежский», его продукция выпускается под брендом «Вкуснотеево». Современные технологии переработки и упаковки молочных про-

дуктов внедрены на Лискинском и Россошанском молочных заводах, Нижнекисляйском заводе молочных консервов, Нижнедевицком и Подгоренском маслодельном заводе, Калачеевском, Острогожском, Павловском и Аннинском маслодельно-сыродельных заводах, Богучарском и Тойденском сыроваренных заводах. Масложирова промышленность представлена крупнейшим Евдаковским масложиркомбинатом, Лискинским и Аннинским маслоэкстракционными заводами. Маслобойные заводы расположены в Новохоперске, Боброве, Калаче и Эртиле. Крупнейшие спиртзаводы, использующие пшеницу в производстве спирта «экстра» и «люкс», находятся в Анне, Бутурлиновке и Новохоперском районе. Самый крупный ликероводочный завод, который до недавнего времени работал в Воронеже, не так давно перенесен в п. Гремяченский. Пивзавод «Воронежский» не так давно стал филиалом АО «Балтика».

В настоящее время можно наблюдать факторы, препятствующие динамичному развитию воронежских пищевых предприятий:

- вытеснение местных производителей с рынка более конкурентоспособными предприятиями из других регионов (особенно из Белгородской области), а также иностранными производителями;
- поглощение (скупка) неэффективных воронежских предприятий внешними инвесторами как с целью улучшения их работы, так и с целью полной ликвидации приобретенных предприятий.

Поэтому в новых условиях изобилия предложения пищевых продуктов победить в конкурентной борьбе смогут лишь те предприятия, которые продемонстрируют эффективные способы хозяйствования, то есть будут обеспечивать своим товарам надлежащее качество, внедрять в практику действенные методы управления и маркетинга, продвигать на рынки новые продукты, а главное – разрабатывать и внедрять инновации.

Согласно оценке независимых экспертов, Воронежская область входит в первую десятку регионов России, имеющих благоприятные предпосылки для инновационного развития, однако, несмотря на это, нынешний уровень инновационной активности оценивается как средний, что доказывают результаты Рейтинга инновационной активности регионов 2011, проведенного Национальной ассоциацией инноваций и развития информационных технологий (НАИРИТ). Согласно исследованию Воронежская область относится к регионам со средней инновационной активностью, кроме того в 2011 году она оказалась среди «неудачников», упав в рейтинге на 11 позиций.

Так, по данным департамента экономического развития Воронежской области, доля инновационно-активных предприятий в общем количестве предприятий области сократилась в 2012 году до 9,6 % (2011 год – 12,8 %) (рисунок 1) [3]. А число созданных передовых технологий в регионе сократилось вдвое, при этом общероссийский уровень вырос на 16 %.

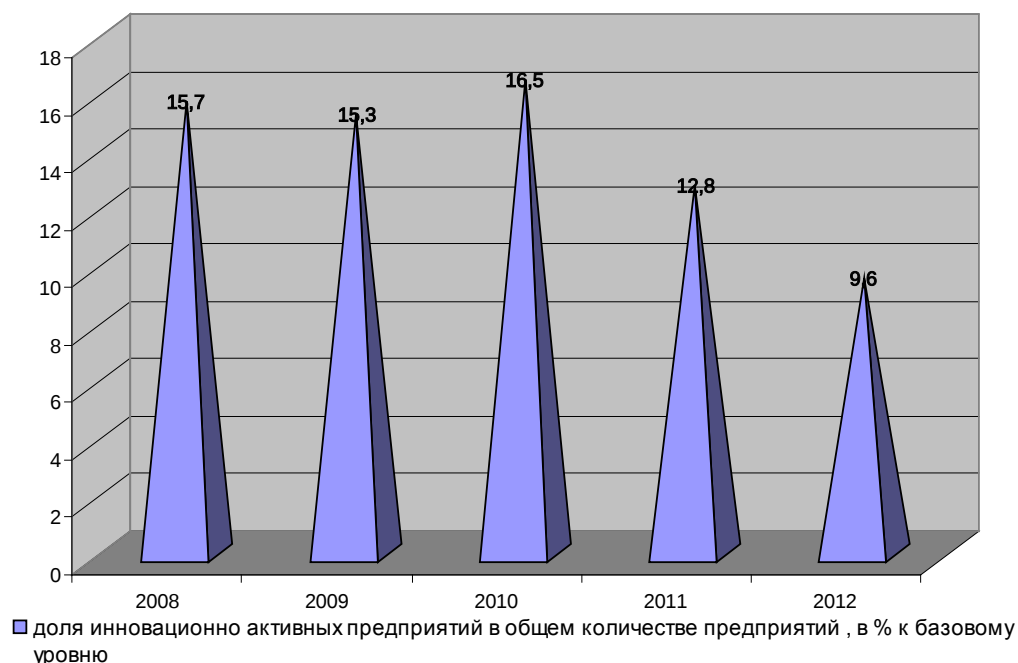


Рисунок 1 - Динамика инновационно-активных предприятий Воронежской области за 2008-2012 гг.

Однако есть и положительные тенденции в развитии инновационной деятельности региона.

Опираясь на официальные статистические данные, за период 2011-2012 гг. в Воронеже в 1,2 раза увеличилось число малых инновационных предприятий, а также создано дополнительно 135 рабочих мест в малых и средних инновационных предприятиях, ведущих НИОКР и выпуск инновационной продукции [1].

Кроме того, рост затрат на технологические инновации в 2012 году составил 109% к базовому уровню (2011 год - 105 %), а количество объектов интеллектуальной собственности, использованных на территории Воронежской области, составило 385 ед. (2011 - 112 ед.).

В регионе имеется инфраструктура, способствующая коммерциализации новых разработок - созданы 4 технопарка: «Содружество», «Митэм», «Калининский», «Космос-Нефть-Газ». При финансовой поддержке федерального бюджета функционируют 3 бизнес-инкубатора: «Авиационный», «Восток» и на базе ВУЗа - «ВГАСУ». В настоящее время реализуется долгосрочная целевая программа «Развитие инновационной деятельности в Воронежской области на 2011-2015 годы» с общим объемом финансирования, включая внебюджетные источники, 4,1 млрд. рублей. В 2012 году за счет средств областного и федерального бюджетов на поддержку инноваций направлено 87,4 млн. рублей. В 2013 году на развитие инновационной деятельности направлено 210,0 млн. руб. (в 2,4 раза выше уровня 2012 года).

Наряду с действующими мерами государственной поддержки в виде грантов на создание малых инновационных компаний и субсидий действующим инновационным компаниям в 2013 году планируется разработать и реализовать дополнительные стимулирующие меры областной поддержки субъектов инновационной деятельности. При этом основными проблемами реализации инновационной политики в области остаются неэффективная коммерциализация существующего научно-исследовательского потенциала области и отрицательная динамика внедрения новых прогрессивных технологий в производство.

Поэтому основными направлениями развития региона в настоящее время являются создание, развитие и реализация областной инновационной системы, основным механизмом дальнейшего развития которой должно стать привлечение большего количества ресурсов для целей поддержки реализации инно-

вационных проектов регионального значения с соблюдением условий непрерывного государственного управления всеми ее элементами.

Рассмотрим особенности инновационной деятельности на воронежских предприятиях пищевой промышленности. Как известно, уровень концентрации учебных, научно-исследовательских организаций, КБ и инновационно-технологических предприятий, осуществляющих НИОКР и производящих наукоемкую продукцию в различных сферах материального производства Воронежской области, очень высок. Наибольшее сосредоточение научно-производственных организаций наблюдается в обрабатывающих отраслях промышленности. Кроме того, именно предприятия пищевой промышленности области являются одними из наиболее активных среди других отраслей обрабатывающей промышленности в плане инвестиций и инноваций. В общем объеме затрат на технологические инновации в промышленном секторе региона на их долю приходится 22,4 % (377 317,6 тыс. руб.) [1].

При этом большая часть затрат на технологические инновации направляется на приобретение машин и оборудования с целью совершенствования производственных процессов. Таким образом, отрасль не только обеспечивает завершение и возобновление воспроизводственного цикла в сельском хозяйстве, создает товарные ресурсы для отрасли торговли, но и выступает одним из основных покупателей технологического оборудования, выпускаемого в машиностроении.

По данным Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Воронежской области количество инновационно-активных предприятий пищевой промышленности в 2011 году сократилось до 10 (2010 год -12) – почти треть всех инновационно-активных предприятий обрабатывающей промышленности области [1]. Удельный вес организаций пищевой промышленности, занимавшихся инновационной деятельностью, в общем объеме обследованных организаций составил 11,8 % (2010 год – 14,0 %).

Преобладающим направлением инновационной деятельности пищевых предприятий является производство конкурентоспособной продукции на основе технического перевооружения и глубокой модернизации производственного оборудования и технологических процессов, которое базируется на использовании новейших образцов высокотехнологичного оборудования ведущих мировых произво-

дителей и известных технологий (10,6 % пищевых организаций, занимающихся инновационной деятельностью). При этом, как правило, предусматриваются лишь проектные работы для освоения закупаемого извне оборудования и сертификатов. Таким образом, предприятие может добиться значительного снижения издержек и высокой рентабельности. Основное внимание уделяется быстрому освоению оборудования и запуску производства.

Наблюдается положительная динамика роста объема инновационных товаров, работ и услуг, производимых в пищевой промышленности региона (2011 год – 15588503,2 тыс. руб., 2010 год – 13431846 тыс. руб.). В 2011 году 13 организаций пищевой промышленности, имевших завершённые технологические инновации в течение последних трех лет, осуществляли продуктовые и процессные инновации (2010 год – 15 организаций). Однако объем затрат организаций на технологические инновации вырос на 36 % и составил 377,3 млн. руб. (2010 год – 276 млн. руб.), а в структуре затрат при разработке инноваций по данным Территориального органа Федеральной службы статистики по Воронежской области доля продуктовых затрат составила 84 %, а процессных – 15% [1].

Ситуация, сложившая в области охраны интеллектуальных прав в сфере пищевой промышленности, неутешительна, в 2011 году выдан только один патент на изобретение. В предыдущие годы количество охранных документов, выдаваемых на результаты интеллектуальной деятельности, кардинально не превышает настоящего количество.

В сфере малого инновационного предпринимательства в отрасли действуют 3 организации (3,7 % от общего объема обследованных организаций), затраты которых на технологические инновации составили 2135,0 тыс. руб. (предпоследнее место по затратам всех обследованных малых инновационных организаций по видам экономической деятельности).

Приведенные выше статистические данные, анализ деятельности инновационно-активных пищевых предприятий Воронежской области раскрывают существующие на настоящий момент отраслевые проблемы. Несомненно, что показатели инновационной активности, применяемые в сфере пищевой промышленности, значительно ниже, чем, к примеру, в машиностроении. Это свидетельствует о нестабильности или недостаточности финансирования для проведения глобальных инновационных изменений, слабой восприимчиво-

сти предприятий к инновациям и недостаточной готовности реального сектора экономики к новому этапу развития, а также о нехватке новаторских идей применимо к пищевому сектору. В конечном итоге такая ситуация может привести к вытеснению воронежских производителей с межрегионального и общероссийского рынков [2].

Проведенный анализ инновационно-активных предприятий пищевой промышленности в Воронежской области позволяет определить представленные ниже специфические условия и факторы, влияющие на их деятельности.

Факторы, сдерживающие инновационную активность:

- высокая степень физического и морального износа материально-технической базы предприятий при недостаточности финансирования для серьезного технического перевооружения из-за низкой рентабельности многих производств;
- недостаточный объем производственных мощностей, основанных на современных технологиях;
- низкий уровень внедрения объектов интеллектуальной собственности на предприятиях;
- недостаточность инвестиционного капитала, вовлекаемого в инновационную деятельность предприятий;
- сложность производства конкурентоспособных видов продукции.

Факторы, способствующие росту инновационной активности:

- развитость собственной материально-технической базы, наличие стратегически важных природных ресурсов, продуктов их переработки;
- наличие высокого научно-технического потенциала области и экспериментальной опытно-конструкторской базы и, как следствие, возможность самостоятельных разработок новых видов продукции;
- выгодное географическое положение области и достаточно развитая транспортная и инженерно-коммуникационная инфраструктура, заметно повышающая уровень экономической активности и инвестиционной привлекательности за счет исключения дополнительных издержек на их создание;
- относительно устойчивая социально-политическая обстановка, являющаяся основным стабилизирующим фактором.

Соответственно, действия, направленные на увеличение инновационной активности региональных пищевых предприятий, должны осуществляться по нескольким направлениям:

- мониторинг экономической ситуации в стране и в регионе, позволяющий строить прогнозы инвестиционной активности и вносить необходимые изменения в региональную экономическую политику;

- привлечение значительных объемов инвестиций, в том числе государственных (областных), направленных на реализацию инновационных проектов и создание новых конкурентоспособных производств на территории области;

- разработка четкой системы по предоставлению различных льгот и преференций предприятиям-инвесторам, включающей в себя местные законодательные акты, нормативы, методики и т.д.;

- развитие механизмов государственно-частного партнерства;

- формирование системы информационного обеспечения инновационной деятельности, которая создаст информационный мост между создателями инновационной продукции, отечественными и зарубежными инвесторами, заинтересованными в ее внедрении;

- поддержка создания и развития малых инновационных предприятий, стимулирование инновационной деятельности в этих предприятиях и вовлечения инноваций в рыночный оборот;

- осуществление комплекса системообразующих региональных инновационных проектов по приоритетным направлениям развития Воронежской области, которые станут катализаторами развития инноваций в пищевой промышленности и приведут к переходу на инновационный путь развития.

Для реализации поставленных задач необходимо разработать точную систему программных мероприятий в сфере пищевой промышленности, направленную на преобразование всех циклов инновационного процесса. Данная система должна быть согласована с промышленной и инвестиционной политикой и должна задействовать как можно большее количество предприятий региона. При этом следует учитывать индивидуальный характер деятельности каждого конкретного предприятия, поскольку степень выполнения инновационных стратегий может быть различной.

Усиление конкуренции, как на внутренних, так и на внешних рынках позволит предприятиям Воронежской области прочно занять позиции на общероссийском рынке продовольствия. Интенсивное внедрение эффективной инновационной деятельности в пищевую промышленность Воронежской области обеспечит благоприятное развитие региона, подтверждение целесообразности использования ресурсов, укрепление конкурентоспособности предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1 Инновационная деятельность организаций Воронежской области в 2011 году [Текст]: статистический бюллетень. – Воронеж:/ Воронежстат, 2012. – 48 с.

2 Смольянова, Е.Л. Основные проблемы развития инновационно-инвестиционного потенциала Воронежской области [Текст] / Е.Л. Смольянова, Н.А. Серебрякова // Региональная экономика: теория и практика. – 2009. - № 38 (95). – С. 52-60.

3 Сайт правительства Воронежской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.govvrn.ru>. – Загл. сэкрана.

REFERENCES

1 Innovation activities of organizations of the Voronezh region in 2011 [Text]: statistical bulletin. –Voronezh: Voronezhstat, 2012. – 48 p.

2 Smoljanova, E.L. The main problems of innovation and investment potential of the Voronezh region [Text] / E.L. Smoljanova, N.A. Serebriakova // Regional economics: theory and practice. - 2009. - № 38 (95). - P. 52-60.

3 Website of the Voronezh region government [Electronic resource]. Access mode: <http://www.govvrn.ru>. – Title screen.

Доцент Л.Е. Совик

(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра экономики, финансов и учета,
тел. (473) 255-37-82

Разработка анализаторов транзакций в системах мониторинга бизнес-деятельности организаций

Выделены предпосылки и особенности внедрения на пищевых производствах технологий мониторинга бизнес-деятельности в реальном времени, предложен методический подход к разработке анализаторов транзакций бизнес-процессов организации, построена схема мониторинга для одного из типов базовых событий бизнес-процесса закупок.

In the article there are marked the features and prerequisites of implementation in food production technologies devoted to monitor business activity in the realtime. The methodical approach to the development of analyzers transactional business processes of the organization is offered, monitoring scheme for one of the basic types of business events in the procurement process is constructed.

Ключевые слова: мониторинг бизнес-деятельности, транзакция бизнес-процесса, анализатор события, схема мониторинга базового типа события, методический подход.

Методологическое обоснование мониторинга как специфичной технологии управления в реальном времени конструируется на структурно-иерархическом и процессно-функциональном понимании менеджмента как системы. При этом функции управления организацией соответствуют ее миссии и целям и максимально реализуют эмерджентные качества системы как единства частей целостности. Такое понимание сути менеджмента позволяет преодолеть ограничения чисто функционального подхода, заключающиеся, в частности, в отсутствии инструментов реагирования на изменения в режиме реального времени вследствие необходимости прохождения информации и принятия решения по иерархически построенному принципу делегирования полномочий. При функциональном подходе также слабо проявлены или полностью отсутствуют горизонтальные связи в организации экономической, в том числе трудовой деятельности менеджеров организации, что делает невозможным своевременное согласование решений, возникающих на стыках разграничения полномочий функциональных подразделений.

Комбинируя в технологии бизнес-мониторинга функционально-процессный подход и фактор времени, из функционального

подхода извлекают смысловую нагрузку «что делать?», из процессного – «как и где делать?», а учет временного фактора дает понимание – «когда делать?». Элементарная систематизация при этом принимает форму:

функции – процессы – время
(что) (как) (когда)

Сочетание понятий «процесс-функция-время» в бизнес-мониторинге может быть представлено иерархической цепью:

Процесс – подпроцесс (сумма процедур) – процедура (сумма функций) – функция (сумма транзакций) – транзакция (событие), выполняемая во времени

В соответствии с функционально-процессно-временным подходом, бизнес-мониторинг как технология управления призван решать в их органическом сочетании следующие задачи:

- информирования, то есть представления менеджеру информации в наиболее удобном виде в тот момент времени, когда требуется принятие решения;

- анализа и формирования в реальном времени предварительных вариантов управленческих решений по параметрам совершаемых транзакций;

- диагностики, то есть идентификации состояния критических по отношению к поставленным целям или находящихся в состоянии изменений составляющих бизнес-процесса;

- побуждения, то есть мотивации «коллективного менеджера»;
- контроля, то есть установления показателей качества принимаемых менеджером управленческих решений, в том числе и по параметрам экономической безопасности организации;
- корректировки, то есть совершенствования процессов, регламентов процессов, целей и задач управления.

Организация мониторинга как специфичной технологии управления экономической деятельностью промышленной организации с точки зрения детерминированности среды и определе-

ния значимости событий выдвигает его информационный аспект с критериями обеспечения управленческих процессов, как показано в таблице 1. Из всех приведенных типов событий третий и четвертый предполагают организацию цикла мониторинга полностью или частично в автоматизированном режиме, а последний, обладающий самым мощным креативным потенциалом развития, пока не обладает возможностями полноценных методов обработки информации, так как выработка управленческих решений в большей мере зависит от качества деятельности менеджеров в системе управления.

Т а б л и ц а 1

Информационный аспект мониторинга как технологии управления экономической деятельностью промышленной организации

Классификация событий	Характеристика событий	Уровни формализации
1. Единичные важные сообщения	Сигналы об угрозах. Требуется специализированного инструмента анализа и оценки, специальных правил реагирования	Технический
2. События, поступающие в режиме реального времени, вычисляемые по заранее предусмотренным регламентам	Информация поступает из детерминированных источников по специальным схемам	Технический
3. Поточковые случайные события с известной номенклатурой, но неопределенным временем совершения	Поступают в режиме реального времени. Необходим анализ соответствия события и причины его возникновения, так как само событие не проявлено с очевидностью	Методический
4. События, имеющие сложную структуру и предполагающие заранее известный обобщающий образ	Сложное сочетание в потоке единичных событий на основе их взаимосвязей и взаимодействий. Необходим специальный инструментальный анализ и формирования вариантов решений по параметрам событий, декомпозиции целевых критериев, представления данных	Регламентный
5. События, не происходившие ранее, не имеющие аналогов	В этих событиях могут усматриваться факты возникновения новационных изменений в экономической деятельности организации	Ментальный

С точки зрения кибернетического представления процесса, протекающего в системе управления в режиме «черного ящика» [2], бизнес-мониторинг следует рассматривать как технологию управления, располагающую возможностями задействовать в реальном времени анализатор «входов» в момент совершения транзакции и проводить управленческое реше-

ние («выход»), воздействующее на состояние системы. Схематично это представление выглядит следующим образом (рисунок 1). Включение анализатора в схему мониторинга транзакций бизнес-процессов организации выступает ключевым моментом, позволяющим квалифицировать его как технологию управления в ее кибернетическом понимании.

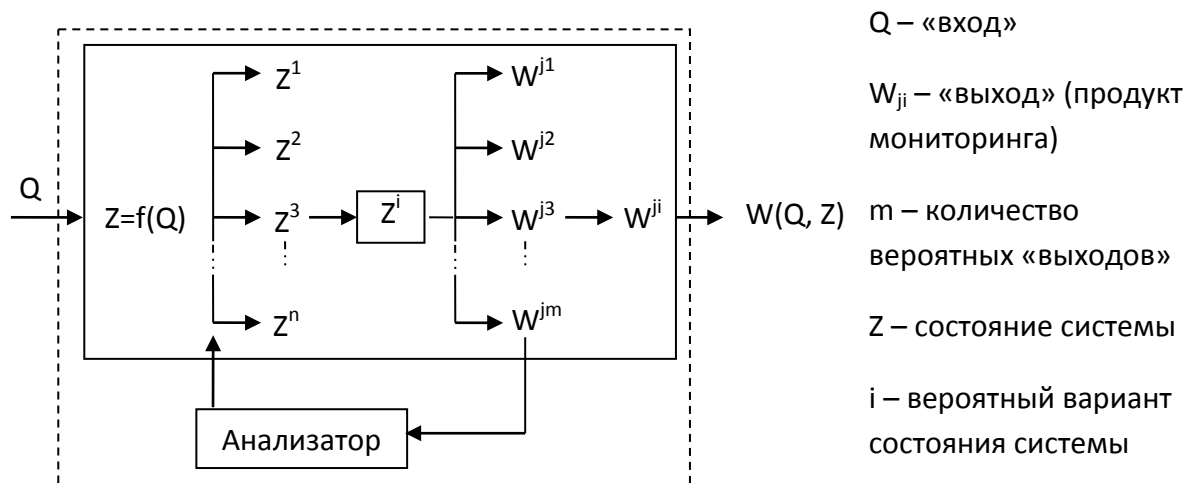


Рисунок 1 - Кибернетическая схема бизнес-мониторинга в системе управления экономической деятельностью организации

$W=f(Q, Z)$ – учитывается изменение параметров внутреннего состояния системы в зависимости от изменения входов и внутреннего состояния системы.

Многокритериальность и многовариантность внутреннего состояния: $Z^1, Z^2, \dots, Z^n$ возникает вследствие: а) неоднозначности выбора внутреннего состояния системы в зависимости от «входа»; б) неоднозначности «выхода» при фиксированном внутреннем состоянии системы (Z^i): $W^1, W^2, \dots, W^{ji} \dots W^{mi}$.

При этом инструментальный практического мониторинга событий бизнес-процессов поддерживает:

- отображение события, осуществляемое из любой информационной системы организации и разнообразных источников данных (корпоративных баз данных, систем контрагентов, Web-сервисов, Internet и так далее);

- формулировку контекста события и его анализ в реальном времени. Контекст выбирается как из исторических данных, так и из оперативных внутренних и внешних источников в режиме реального времени. Особое значение здесь придается представлению информации на персонифицированных порталах менеджеров в виде, наиболее удобном для принятия управленческого решения, в том числе с использованием подсказок и графических компонент (диаграмм, графиков и таблиц);

- ввод параметров принятых решений и их распространение в соответствии с предусмотренной схемой информационно-логических взаимосвязей.

В новой технологии менеджер получает возможность проводить каждую регламентную транзакцию (событие) бизнес-процесса, осуществляя в реальном времени анализ ее параметров и самостоятельно принимая решения, в том числе с учетом компетенций из сопряженных сфер управления, включенных в горизонтальное взаимодействие. На персонифициро-

ванном портале менеджера визуализируются аналитические «подсказки» и варианты решений, формируемые на основе текущих, исторических и прогнозных сведений, связанных с осуществляемым и смежными событиями.

Применение технологии мониторинга предполагает существенное повышение степени самоуправления на базовом уровне менеджмента, что приводит, с одной стороны, к обострению агентских проблем организации, а с другой – предлагает эффективный инструментальный решения проблем такого рода. В условиях массовости и разнообразия бизнес-процессов производственной организации ее собственник (принципал) делегирует наемному менеджменту (агентам) часть своих функций по принятию экономических и финансовых решений, включая при этом механизмы согласования интересов в виде ограничений, наказаний, поощрений. Однако эти механизмы не всегда способны обеспечить принятие агентами решений в интересах собственника или с позиций объявленных целей организации по причинам, связанным с личными выгодами, а также с недостаточностью (неопределенностью) информации. Технология мониторинга, предусматривающая применение встроенных анализаторов, дает возможность контроля параметров каждого события на этапе принятия решений агентом – наемным менеджером, создавая

таким образом основу системы экономической безопасности организации. В таблице 2 представлена наша разработка практической

схемы мониторинга одного из базовых типов транзакций бизнес-процесса закупок организации: «Контракт на закупку».

Т а б л и ц а 2

Проектная схема мониторинга регламентного события «Контракт на закупку»

АНАЛИЗАТОР РЕГЛАМЕНТНОГО СОБЫТИЯ «КОНТРАКТ НА ЗАКУПКУ»			
Параметры события	Анализатор (процедуры)	Рекомендации по принятию решений	Аспекты экономической безопасности
Контрагент	Рейтинг контрагента, учитывающий <i>регламенты диверсификации поставок</i>	Рекомендуется заключение сделки с данным контрагентом или предлагается список поставщиков в порядке убывания рейтинг & риск поставки	Контроль сделки с учетом интегральной оценки надежности поставщика
Продукт Срок поставки Количество	Оценка ожидаемого уровня запаса в день поставки продукта в сопоставлении с нормой запаса по данным бизнес-процессов <i>движения запасов и закупок</i>	Рекомендуются количество и даты поставки, отвечающие регламентным условиям управления запасами	Проверка целесообразности закупки по объему и срокам поставки
Цена	Оценка цены поставки: с учетом влияющих факторов по данным <i>мониторинга внешней среды</i>	Рекомендуется диапазон цены	Проверка соответствия цены закупки текущему уровню цен
Срок оплаты	Оценка соответствия срока расчета по сделке <i>целевым критериям</i> и ожидаемому остатку средств на выбранную дату (<i>бизнес-процесс движения денежных средств</i>)	Рекомендуются даты платежа в сроки в пределах целевой продолжительности расчетов с кредиторами	Контроль соответствия срока оплаты принятому в организации порядку

Из приведенной схемы мониторинга отдельной транзакции бизнес-процесса закупок в экстраполяции на рассматриваемую технологию в целом следует:

- существенное перераспределение ответственности и повышение степени самоуправления на базовом уровне менеджмента субъекта управления: в центрах закупок, в местах возникновения затрат, в центрах продаж, ответственности и др. Это обеспечивается включением анализаторов проводимых регламентных событий через персонифицированные порталы менеджеров, а также соответствующим техническим и программно-информационным инструментарием мониторинга;

- формирование горизонтальных информационных взаимосвязей между элементами базового уровня организационной структуры субъекта управления (в таблице 2 выделены курсивом;

- создание условий для автоматизированного контроля качества принимаемых менеджментом управленческих решений по параметрам осуществляемых транзакций.

Внедрение технологии мониторинга предполагает целенаправленное проведение необходимых организационных изменений, нуждающееся в методическом сопровождении. Решать эту задачу предлагается на основе положений представленной в [1] методики, дополненной и модифицированной с учетом особенностей процесса, инициирующего развитие системы управления. Первая модификация касается диагностической фазы и предполагает включение в нее блока «Диагностика организационных особенностей новой системы управления», взамен или наряду с блоком «Диагностика стадии жизненного цикла» (таблица 3).

Методика проведения организационных изменений при внедрении мониторинга бизнес-деятельности

Диагностическая фаза	Идентификационная фаза	Реализационная фаза	Фаза наблюдения
Диагностика организационных особенностей новой системы управления	Выбор направления развития	Рекомендуется заключение сделки с данным контрагентом или предлагается список поставщиков в порядке убывания рейтинг & риск поставки	Мониторинг внутренней и внешней среды
Диагностика субъекта управления	Определение значений организационных компонентов	Проведение организационных изменений	Оценка ситуации
Диагностика внешней среды		Контроль успешности преобразований	

Для диагностики организационных особенностей технологии мониторинга бизнес-деятельности следует обратиться к проектной документации, а также использовать метод контрольных вопросов к разработчикам системы. Диагностика фокусируется на выявлении в новой технологии управления таких черт, которые затрагивают существующую систему распределения власти, полномочий и ответственности, индуцируя организационные изменения. Такими особенностями выступают, на наш взгляд: существенное перераспределение ответственности и повышение степени самоуправления на базовом уровне иерархической системы управления производственной организацией; формирование тесных информационных взаимосвязей «по горизонтали» между элементами, относящимися к одному уровню организационной структуры субъекта управления; изменение типа регламентации и контроля деятельности на одном или нескольких уровнях структуры. Означенные свойства входят в противоречие с бюрократическим типом организационной культуры, преобладающим сегодня в большинстве производственных систем, и являются основанием для постановки диагноза о необходимости проведения организационных преобразований. Необходимы параллельные изменения в типе организационной культуры, поскольку исключительно «силовой» способ взаимодействия, соответствующий распространенной в производственных организациях бюрократической культуре, не позволит в полной мере реализовать преимущества новой технологии, связанные с высоким уровнем самоуправления на базовой ступени системы менеджмента. Методическое сопро-

вождение проводимых преобразований также обеспечивается инструментарием *идентификационной и реализационной фаз* методики [1]. Процесс перехода на новую технологию управления в соответствующем организационном окружении принесет положительные плоды, если обеспечивается согласование интересов наемного менеджмента (агентов) и целей, поставленных принципалами. Целостное методическое сопровождение всех сопряженных изменений как единого проекта повысит вероятность завершения работ в запланированные сроки и достижения ожидаемого результата.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Горшкова, Л.А. Методика развития системы управления организацией на разных стадиях ее жизненного цикла [Текст] / Л.А. Горшкова, В.А. Поплавская // Экономический анализ. - 2010. - №34. - С. 2-7.
- 2 Фрейдина, Е. В. Исследование систем управления [Текст]: учебное пособие по специальности «Менеджмент организации» [Текст] / Е.В. Фрейдина. – М.: Омега-Л, 2009. – 368 с.

REFERENCES

- 1 Gorshkova, L.A. The methodology of development of the management system in an organization in different phases of its life-cycle [Text] / L.A. Gorshkova, V.A. Poplavskaya // Economic analysis. – 2010. - № 34. – P. 37-42.
- 2 Freidina, E.V. The research of management systems [Text]: textbook for the specialization «Management of the organization» / E.V. Freidina. – M.: Omega-L, 2009. - 368 p.

Профессор В.В. Гасилов, аспирант Д.В. Шитиков

(Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т) кафедра экономики и основ предпринимательства, тел. (473) 271-54-00

Оценка рисков моделей государственно-частного партнерства в дорожном хозяйстве

В статье рассмотрены основные перспективные модели государственно-частного партнерства, дана оценка рисков данных моделей с учетом их распределения между участниками партнерства. Предложен механизм оптимального выбора модели государственно-частного партнерства в проектах развития транспортной системы.

This article studies the main potential models of public-private partnership; it gives evaluation of risks for these models, considering their distribution between members of partnership. It offers the mechanism of making an optimal choice of a public-private partnership model for projects of transport system development.

Ключевые слова: государственно-частное партнерство, риски, инвестиционный проект, жизненный цикл

При выборе оптимальной модели общественно-частного партнерства необходимо определить основные базовые модели, их характеристики и возможности применения. Далее проводится идентификация всех возможных рисков реализации проекта и их оценка. Затем составляется модель распределения рис-

ков среди участников государственно-частного партнерства (ГЧП). На последнем шаге определяются источники финансирования проекта и степени ответственности каждого участника.

На рисунке 1 отображены основные составляющие процесса жизненного цикла инфраструктурного объекта.



Рисунок 1 – Основные этапы развития объекта дорожного хозяйства

Основными моделями, представляющими наибольшие перспективы развития в отрасли дорожного хозяйства [1], являются:

1) Контракты на управление. Данная модель несет для подрядчика минимальные риски, так как исключает ответственность за ошибки проектирования и строительства.

2) DB – строительство новых дорог средней или большой пропускной способности, либо реконструкция существующих дорог. В отличие от традиционных подходов к государственным заказам, модель DB объединяет этапы проектирования и строительства в одном контракте. При этом один подрядчик несет общие риски как строительства, так и возможности ошибок в разработке проекта.

Одним из разновидностей модели DB может считаться модель DB с гарантийными обязательствами (DB-W). В данном случае подрядчик принимает на себя долгосрочные риски функционирования объекта при нормативном использовании (около 20 лет).

3) DBOM – строительство новых дорог на платной или бесплатной основе для физических пользователей.

В модели DBOM подрядчик несет ответственность за этапы проектирования, строительства, эксплуатации и обслуживания объекта в течение определенного времени (15-25 лет). При этом подрядчик отвечает всем согласованным стандартам, связанным с физическим состоянием, пропускной способностью, перегрузкой дороги и качественным показателем движения.

4) DBFO – строительство новых дорог на платной или бесплатной основе для физических пользователей.

Модель DBFO является вариацией модели DBOM, включающей риски по финансированию проекта. При данной модели генерация денежных потоков частного сектора осуществляется в процессе эксплуатации объекта.

Одной из разновидностей модели DBFO, представляющей наибольший интерес в России, является модель LCC – контракты жизненного цикла (КЖЦ) [2]. Данная модель представляет собой особую форму модели DBFO, когда проектирование и строительство объекта осуществляется полностью за счет подрядчика, но в тоже время все финансовые риски принимаются государством, и возврат денежных средств подрядчику представляется в виде отсроченных платежей.

5) Концессионные соглашения – передача в эксплуатацию частному сектору существующих и строительство новых платных дорог за счет финансовых средств концессионера.

Согласно договору концессий, частный сектор (концессионер) обязуется осуществить строительство (реконструкцию) объекта, после чего ему предоставляется право владения и пользования объектом для осуществления указанной деятельности в концессионном соглашении. В данной модели подрядчик несет полную ответственность по всем рискам.

Следующим этапом развития концессий является модель BOO/BOOT, которая предусматривает возмещение затрат частного партнера за счет доходов от построенного объекта, но в отличие от концессии – право собственности на объект по окончании его строительства принадлежит частному партнеру, передача в собственность публичному партнеру происходит по истечении установленного соглашением

срока и возмещения затрат. Эта модель снижает степень риска частного сектора, так как закрепляет законодательно право на объект на время действия соглашения, но с другой стороны, представляется трудно реализуемой в российских условиях, где стратегические объекты не могут находиться в частной собственности.

При выборе модели ГЧП автор исходит из положения о необходимости максимально-возможного привлечения финансовых средств (в том числе и зарубежных) частного сектора и передачи наибольшей степени рисков подрядчику для ускоренного развития транспортной сети. Приоритетной моделью в данном случае является форма концессионных соглашений, снимающая нагрузку финансирования с бюджетной системы и переносящая ее на непосредственных пользователей дороги.

Следующей по приоритетности представляется модель DBFO, позволяющая откладывать крупные финансовые платежи по строительству и реконструкции объекта во времени и представляющая их по факту в виде аннуитетных платежей подрядчику. В данном случае практически все риски, за исключением рисков спроса, отдаются частному сектору [3]. В то же время, отложенные платежи позволяют форсировать выполнение других проектов развития дорожного хозяйства.

Наименьший приоритет в данной методике получают модели, использующие финансирование полностью за счет бюджетных источников. Наиболее оптимальной в данном случае считается модель DBMO, охватывающая максимальное количество этапов жизненного цикла проекта.

Графическое представление распределения денежных потоков для приоритетных моделей ГЧП в дорожном хозяйстве представлено на рисунках 2-4.

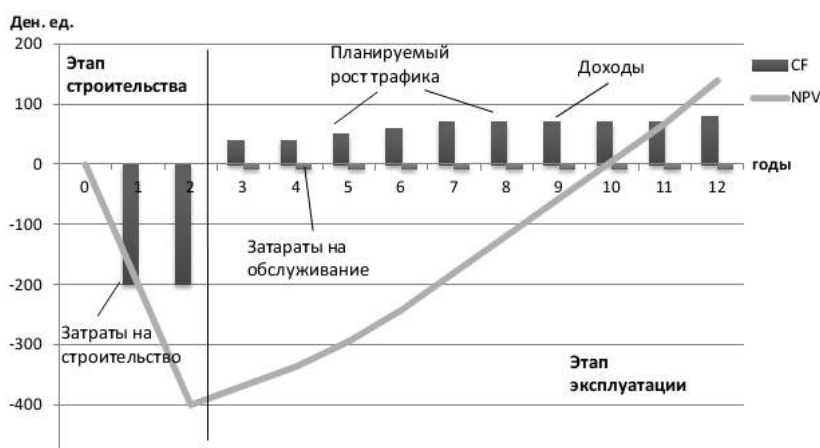


Рисунок 2 - Пример распределения денежных потоков при использовании модели концессионных соглашений

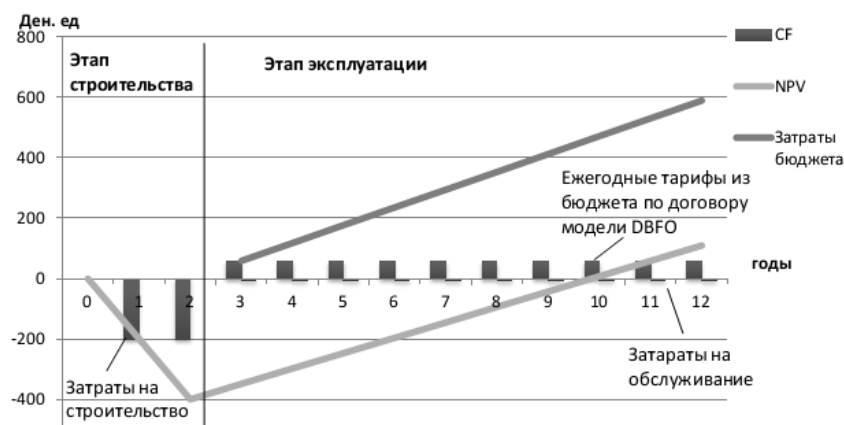


Рисунок 3 - Пример распределения денежных потоков при использовании модели DBFO

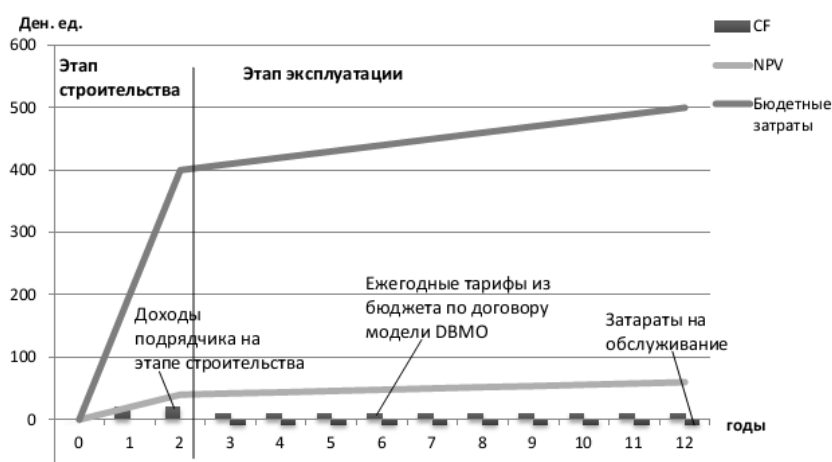


Рисунок 4 - Пример распределения денежных потоков при использовании модели DBOM

На представленных графиках видно, что финансовые потоки условно делятся на две части:

1) Этап строительства.

На данном этапе в наиболее приоритетных моделях в виде концессий и DBFO финансирование осуществляется за счет частного сектора. При этом в модели DBFO привлечение подрядчиком заемных средств упрощается, так как запланированные бюджетные обязательства по выплате ежегодных тарифов за предоставление объекта в пользование снижает инвестиционные риски кредиторов. В случае модели DBOM финансирование осуществляется полностью из бюджетных источников, но все технические риски по проектированию и строительству передаются подрядчику на следующем этапе жизненного цикла объекта.

2) Этап эксплуатации.

На данном этапе происходит возврат инвестиций. При модели концессионных соглашений возврат денежных средств осу-

ществляется посредством сбора денежных средств за проезд с физических пользователей дороги. Самыми сложными параметрами расчета являются тарифная политика и прогнозирование спроса.

При формировании планируемого тарифа за проезд по автомобильной дороге необходимо руководствоваться следующими принципами:

- величина нагрузки на автомобильную дорогу, при которой создаются комфортные условия движения как по основному ходу, так и на развязках;

- загрузка пунктов оплаты, не превышающая их пропускную способность;

- оценка приемлемых для большинства потенциальных пользователей магистрали тарифов, не вызывающих значительный отток транспортных средств с платной автомобильной дороги на альтернативный бесплатный проезд.

В случае неверной оценки тарифа за проезд, превышающего социально допустимую величину, возможно снижение спроса и

отток транспорта. С другой стороны, в случае заниженной расчетной величины тарифа возможна ситуация неверной конъюнктурной оценки рынка и перспектив его расширения, что не позволит частному сектору выйти на планируемый срок окупаемости.

При модели DBFO возврат денежных средств предполагается в виде ежегодных тарифов из бюджетов соответствующих уровней за предоставление объекта в пользование с учетом возврата инвестиционных средств, затраченных частным сектором на первом этапе жизненного цикла. Проезд для физических пользователей дороги при этом варианте остается бесплатным.

В случае модели DBOM договорные отношения с подрядчиком представляют традиционный подход по оплате управляющей компании услуг по обслуживанию объекта. Но при этом подрядчик берет на себя риски, создаваемые на первом этапе жизненного цикла.

С учетом различных рисков в представленных моделях для привлечения частного сектора необходима их компенсация в виде прироста чистого дисконтированного дохода NPV подрядчика при реализации проекта. При этом рисковая составляющая неопределенности расчетов может быть сокращена при использовании промежуточных типов предлагаемых моделей.

Так при модели концессии стоимость проезда для пользователей может быть частично компенсирована и соответственно снижена при использовании механизмов совместного государственно-частного финансирования проектов. При этом начальные инвестиции строительства (реконструкции) проекта формируются из источников частного сектора, а государственное софинансирование предлагается в виде отсроченных платежей по типу модели DBFO. Для упрощения модели и сложности прогнозирования на длительный период предлагается использовать шаг софинансирования проектов государством в 10 %. В случае 100 % модель приобретает полную форму DBFO.

При дальнейшем снижении рисков возможен перенос отложенных платежей в виде ежегодных тарифов из бюджетов в модели DBFO на начальный этап строительства с шагом 10 %. При 100 % финансировании проекта из бюджета на этапе проектирования и строительства модель принимает полную форму DBOM. Промежуточные формы представлены на рисунке 5.

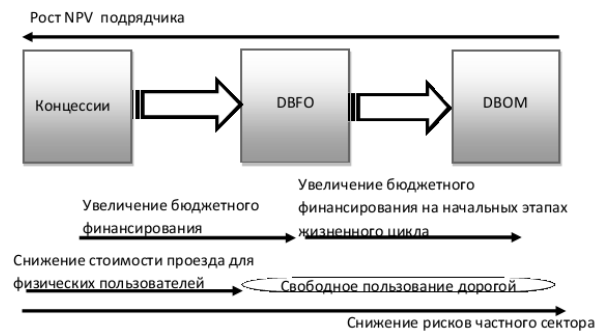


Рисунок 5 - Варианты трансформаций моделей ГЧП

Таким образом, при выборе оптимальной модели ГЧП необходимо руководствоваться принципом инвестиционной привлекательности проекта для частного сектора, представляющим оптимальное соотношение параметров NPV и риска.

Для решения этой задачи автор предлагает совместить методы теории игр при использовании платежной матрицы для расчета по критерию Байеса-Лапласа, как показатель оптимального вознаграждения за выбор данной модели ГЧП, и коэффициент вариации, как показатель риска данной модели.

Критерий Байеса-Лапласа Y_{cp} является не чем иным, как выбором оптимального решения на основе значения ожидаемой денежной стоимости (EMV). При определении этого критерия необходима оценка вероятности состояния внешней среды P_j :

$$Y_{cp} = \max_{j=1}^n P_j \cdot a_{ij} \quad (1)$$

a_{ij} – возможная величина NPV выбранной модели ГЧП.

Сложность данной методики заключается в определении величины вероятности развития того или иного события в долгосрочной перспективе и выявлении факторов, оказывающих воздействие на NPV при данной вероятности.

Минимально возможное к рассмотрению число вероятностей равно трем:

- базовый прогноз;
- пессимистичный прогноз;
- оптимистичный прогноз.

Стандартное распределение вероятностей для данных сценариев: 50 % для базового и 25 % для пессимистичного и оптимистичного прогнозов.

Для выявления наиболее важных факторов, оказывающих существенные риски в укрупненном расчете NPV, проводим анализ чувствительности рисков к базовому прогнозу NPV для каждой предполагаемой модели. Графическое представление показано на рисунке 6.

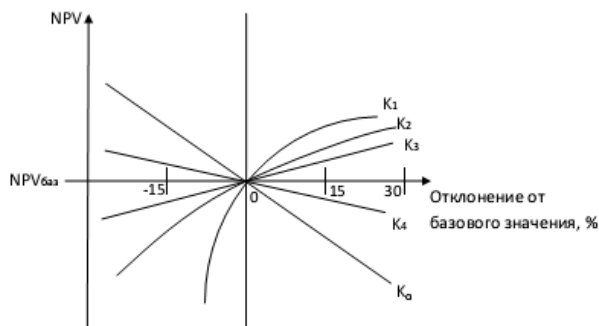


Рисунок 6 - Анализ чувствительности NPV к относительным изменениям параметров kq

При выявлении наиболее существенных факторов определяем значения NPV_{ij} для прогнозных вероятностей и строим матрицу (таблица 1).

Т а б л и ц а 1

Матрица выбора модели ГЧП по критерию NPV

Модели ГЧП	Условия				$\max \sum_{j=1}^n P_j \cdot a_{ij}$
	S_1	S_2	S_j	S_n	
C_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}	Y_{cp1}
C_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}	Y_{cp2}
C_i	...	...	a_{ij}	...	Y_{cpi}
C_m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}	$Y_{ср}$
Вероятность условий	P_1	P_2	P_j	P_n	

Следующим шагом является определение критерия риска предложенных моделей при помощи коэффициента вариации CV:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{m}} \rightarrow \min, \quad (2)$$

$\bar{m}$ - математическое ожидание NPV для выбранной модели ГЧП (в расчетах представляет собой критерий Байеса-Лапласа);

$$\bar{m} = Y_{cp}$$

σ - среднее квадратическое отклонение NPV для выбранной модели ГЧП (рисунок 7):

$$\sigma_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (a_{ij} - Y_{cpi})^2 \cdot P_j} \quad (3)$$

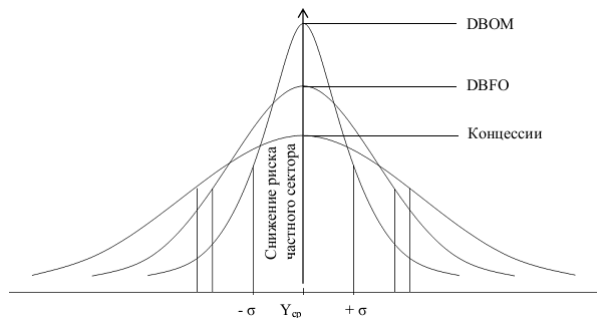


Рисунок 7 – Графическое распределение рисков в зависимости от среднее квадратического отклонения

Для расчета интегрированного показателя, объединяющего эффективности расчетные данные приводятся к единому виду q_{Ycp} , q_{σ} :

$$\text{Для } F(x) \rightarrow \min: q = \frac{X_{\max} - X_i}{X_{\max} - X_{\min}} \rightarrow 1, \quad (4)$$

$$\text{Для } F(x) \rightarrow \max: q = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \rightarrow 1. \quad (5)$$

На основе полученных значений получаем интегрированный показатель значимости проекта E:

$$E = q_{Ycp} + q_{\sigma} \rightarrow \max \quad (6)$$

Оптимальной стратегией привлечения инвестиционных средств частного сектора является модель ГЧП с максимальным интегрированным показателем значимости $\max E_j$.

Представленная методика позволяет оценить возможные риски при различных моделях ГЧП, а также определить риски, оказывающее наибольшее влияние на изменение чистого дисконтированного дохода при изменении внешних условий для данных моделей. Совмещение методов теории игр и коэффициента вариации, рассчитанного на основе критерия Байеса-Лапласа, позволяет определить наиболее эффективную модель с учетом взаимосвязи вознаграждение-риск.

ЛИТЕРАТУРА

1 User guidebook on implementing public-private partnerships for transportation infrastructure projects in the United States. Federal highway administration (FHWA) [Text]. - Washington, 2007. - 82 p.

2 Гасилов, В.В. Методы ценообразования для проектов, создаваемых на основе контрактов жизненного цикла [Текст] / В.В. Гасилов, М.А. Карпович, М.А. Преображенский и др. - Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2012. - 130 с.

3 Visser, C. The economic advantages of public private partnerships [Text] / C. Visser // Routes-Roads. - 2008. - №342. - P. 21-25.

REFERENCES

1 User guidebook on implementing public-private partnerships for transportation infrastructure projects in the United States. Federal highway administration (FHWA) [Text]. - Washington, 2007. - 82 p.

2 Gasilov, V.V. Pricing methods for projects created by lifecycle contracts [Text] / V.V. Gasilov, M.A. Karpovich, M.A. Preobrazhensky et al. - Voronezh: Voronezh SUACE, 2012. - 130 p.

3 Visser, C. The economic advantages of public private partnerships [Text] / C. Visser // Routes-Roads. - 2008. - №342. - P. 21-25.

УДК 303:614

Доцент Е.В. Батурина, доцент Е.А. Рудыка,
старший преподаватель И.Н. Матющенко
(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра инженерной экологии и техногенной
безопасности, тел. (473) 249-60-24)

Социально-экономическая значимость дисциплины «Безопасность жизнедеятельности»

Проанализированы социальные и экономические аспекты безопасности жизнедеятельности и рассмотрен круг опасностей в системе «человек – социальная среда».

The social and economic aspects of Life Safety is analyzed and the circle of dangers in system "man - a social environment" is considered.

Ключевые слова: социальные чрезвычайные ситуации, социально-экономические аспекты безопасности.

В современных рыночных условиях безопасность жизнедеятельности становится одной из острых социальных проблем, что связано со значительным ростом производственного травматизма, профессиональных заболеваний, неразвитости системы реабилитации пострадавших на производстве, увеличением числа техногенных аварий и катастроф, которые могут привести к ухудшению жизнедеятельности людей, их здоровья, а в ряде случаев и к летальным исходам, и, как следствие, к дальнейшему ухудшению демографической ситуации в стране.

Угроза возникновения большого количества аварий с человеческими жертвами, увеличения числа несчастных случаев на производстве и профзаболеваний, вредных выбросов – сбросов в окружающую природную среду, связана, в том числе, и с большим износом основных фондов (на некоторых производствах уровень износа достиг 70-80 %). Кроме того, не отработан экономический механизм, побуждающий работодателя принимать эффективные меры по обеспечению безопасных и комфортных условий труда, хотя здоровье и жизнь человека – главные приоритеты среди общечеловеческих ценностей.

От неудовлетворительного состояния дел с безопасностью жизнедеятельности страна ежегодно несет большие человеческие, экономические и моральные потери. Сегодня безопасность производства и охрана труда работников – одни из основных проблем национальной безопасности страны.

В современных условиях становится очевидным, что обеспечение безопасности жизнедеятельности не может сводиться к формированию у людей простой совокупности знаний, умений и навыков, а необходимо также создавать и внедрять новые направления в образовании и воспитании в духе рационального взаимодействия с окружающей природной средой, развивать новое мировоззрение, позволяющее ориентироваться в разнообразной обстановке, анализировать опасные объекты и явления, оценивать риски, прогнозировать ближайшие и отдаленные последствия реализации опасных ситуаций [1].

Решить эту задачу можно только путем формирования культуры безопасности жизнедеятельности, включающей развитие таких качеств личности, которые направлены на бережное отношение к окружающей природной среде, обеспечение собственной безопасности и безопасности окружающих людей, профессиональных качеств специалистов в области безопасности жизнедеятельности, их эрудированности и компетентности, привитие необходимых знаний, умений и навыков по предупреждению опасных и чрезвычайных ситуаций (ЧС).

В формировании культуры безопасности жизнедеятельности должны принимать участие семья, школа, общество и государство. В результате обучения происходит:

- у детей дошкольного возраста – привитие норм безопасного поведения в окружающей обстановке;

- у учащихся общеобразовательных учреждений – формирование ответственного отношения к собственной безопасности и безопасности других, бережного отношения к окружающей среде;

- у учащихся учреждений начального профессионального образования – формирование понимания необходимости обеспечения безопасных условий труда, соблюдения экологических норм;

- у студентов учреждений среднего и высшего профессионального образования – развитие способностей принятия грамотных, с точки зрения безопасности, решений при управлении производством, организации деятельности коллектива, формирование профессионально значимых (с данных позиций) характеристик [2, 3, 4].

Кроме того, в новых федеральных государственных образовательных стандартах высшего профессионального образования дисциплина БЖД является обязательной для всех направлений подготовки: в области техники и технологий, гуманитарных, экономических, педагогических, естественнонаучных областях знаний, в области культуры и искусства. Но среди обучаемых существует проблема в восприятии дисциплины, что может быть связано с ее технологичностью, отсутствием преемственности со школьным предметом «Основы безопасности жизнедеятельности», большим объемом нового материала и невысокой оценкой роли дисциплины обучаемыми [4].

При изучении дисциплины приходится рассматривать взаимосвязь процессов, происходящих в системе «человек – среда обитания». Риск и последствия воздействия опасностей на конкретного человека предугадать невозможно, т.к. в зависимости от окружающей его среды одни и те же опасности по-разному действуют на человека. Воздействующие опасности, как правило, вероятны (случайны), потенциальны (скрыты), перманенты (постоянны) и тотальны (всеобщи) и имеют различную природу (физико-химическую, биологическую, психологическую природу и др.). Поэтому изучение дисциплины БЖД требует использование знаний по физике, химии, биологии, психологии, экологии, математике и т. д. При этом следует помнить, что человек сталкивается с опасностями на протяжении всей своей жизни, а круг опасностей и их характер в зависимости от возраста и вида деятельности постоянно изменяется, поэтому образование по вопросам безопасности

жизни и деятельности должно быть опережающим по отношению к видам опасностей, с которыми сталкивается человек [5].

Способы защиты, характер действий в опасных ситуациях необходимо объяснять, чтобы человек понимал, почему надо действовать именно так, а не иначе. Обучение должно заставлять размышлять и принимать самостоятельные решения, обосновывать свои действия и выбор средств защиты. Для стимулирования мышления и познавательной деятельности обучение должно иметь практический характер, приближенный к реальным условиям жизнедеятельности и видам опасностей, с которыми сталкивается человек, и подкрепляться разнообразными лабораторными и практическими занятиями, а также экскурсиями на действующие предприятия различных отраслей.

Кроме того, в процессе обучения должны быть предусмотрены межпредметные связи с другими предметами школьной программы или дисциплинами учебного плана техникумов и вузов, в которых и рассматривать отдельные аспекты безопасности, например: в химии изучать вредность и токсичность веществ, на физике – электробезопасность, на информатике – безопасность эксплуатации компьютеров и т.п. [6].

Такая отрасль знаний, как БЖД, может рассматривать вопросы, задачи и проблемы экономического, экологического, политического и социального характера.

Социальная значимость безопасности жизнедеятельности выражается повышением качества выпускаемой продукции; удовлетворенностью выбранной профессией; ростом производительности труда; стабильностью трудовых ресурсов (отсутствие миграции и текучести кадров); повышением дисциплины, культуры труда и интереса к самообразованию; психологической устойчивостью работников, как в обычных, так и в экстремальных условиях; сохранением здоровья и трудовой продолжительности жизни.

Согласно данным Международной организации труда при ООН в мире каждые 3 минуты погибает один рабочий, а каждую секунду – каждый четвертый получает травму. Следует признать, у нас в стране самый большой коэффициент частоты и тяжести травматизма. И, к сожалению, производственный травматизм со смертельным исходом год от года не уменьшается.

Вредное воздействие неблагоприятных условий труда, не отвечающих санитарно-гигиеническим требованиям, недостатки в обеспечении работников коллективными и индивидуальными средствами защиты выражаются не только в росте профессиональных заболеваний, но и в повышенных уровнях общих заболеваний с временной утратой трудоспособности. Все это говорит о том, что нельзя не вкладывать средства в обеспечение безопасности, да и экономить на человеческой жизни аморально. К тому же средства, вложенные государством в развитие безопасности, достаточно быстро окупаются. Например, в США каждый доллар, вложенный в охрану труда, оборачивается прибылью в 2,5 доллара.

Роль социальных аспектов жизнедеятельности сегодня значительно возрастает. Причем если природные катаклизмы чаще всего не зависят от воли человека, то опасные и чрезвычайные ситуации социального и биолого-социального характера непосредственно связаны с деятельностью людей и поэтому бывают более опасны и разрушительны, т. к. носят сознательный и целенаправленный характер. В основе возникновения данных чрезвычайных ситуаций лежат противоречия, серьезно нарушающие нормальное функционирование социума в различных сферах жизнедеятельности. Игнорирование этих противоречий, уход от решения актуальных проблем современного общественного развития как всего мирового сообщества, так и отдельных государств и народов, ведет к самым непредсказуемым последствиям и катастрофам – войнам, военным конфликтам, социальным взрывам и т.п. В настоящее время серьезную опасность представляет международный терроризм. Питательной почвой для которого являются экстремизм и организованная преступность, ставшие серьезной проблемой современного российского общества, истоки которых кроются в особенностях социально-политического и экономического развития страны, вызванных сменой общественно-политической ориентации общества и переходом к рыночным отношениям.

Все вышеизложенное позволяет констатировать, что изучение социальных аспектов безопасности, чрезвычайных ситуаций социального характера, способов их

предотвращения, локализации и ликвидации – одна из актуальных задач. Понятно, что оградить человека от всех угроз и опасностей невозможно, но помочь ему овладеть элементарными навыками безопасного поведения вполне реально. [7].

Одним из важнейших аспектов всех социальных и социально-биологических ЧС является обеспечение безопасности человека от преступных посягательств (преднамеренных убийств, насилия, посягательств на здоровье и достоинство личности, грабежей и краж личного имущества, материальных ценностей и документов, физического и психологического террора), связанных с угрозами, запугиванием, шантажом, вымогательством и другими формами воздействия на человека, в том числе информационно-психологическими (использование средств массовой коммуникации) и психофизиологическими (гипноз, психотропные средства и др.).

В связи с этим определенный интерес представляет концептуальная модель безопасности личности, предложенная В.И. Ярочкиным (рисунок 1) [8], которая помогает разобраться в совокупности опасностей в системе «человек – социальная среда». Однако необходимо помнить, что помимо опасностей, угрожающих человеку со стороны социальной среды, он и сам нередко способствует созданию неблагоприятных факторов для своего существования и существования окружающих, которые носят психологический характер и проявляются в поведении человека. Они могут быть относительно устойчивыми и длительными по времени и обуславливаться неудовлетворенностью социальным положением и результатами трудовой деятельности, безразличием к окружению. Временные ситуативные факторы возникают из-за личных несогласованностей во взаимоотношениях между людьми, неблагоприятных ситуаций в трудовой деятельности и так далее. Часто их причины кроются в неготовности к практической деятельности, низком уровне социальной зрелости, пониженной работоспособности, утомлении и прочем. Действие таких факторов ведет к конфликтам, поведенческим срывам, возникновению состояния тревоги, страха, испуга, паники.



Рисунок 1 – Развернутая концептуальная модель безопасности личности [8]

Социальная практика показывает, что человек способен нарушать правила безопасного поведения в ряде случаев:

- из-за нежелания выполнять определенные действия, что может быть связано с недооценкой человеком опасности, склонностью к риску, отсутствием стимулов к безопасному поведению и т.д., либо, когда человек находится в состоянии депрессии, стресса, наркотического или алкогольного опьянения;

- вследствие незнания объекта воздействия, правил безопасного поведения и способов их выполнения;

- в результате несоответствия физических и психических возможностей человека требованиям социальной практики. Такое несоответствие может быть *постоянным* (недостаточная координация или концентрация внимания) и *временным* (переутомление, ухудшение состояния здоровья, пониженная работоспособность, депрессия, стресс, опьянение и т.д.).

Эти причины влекут за собой возникновение опасностей и угроз. Профилактические мероприятия в первом случае могут включать рекламирование (пропаганду) правил безопасности; во втором – обучение и отработку навыков безопасного поведения; в третьем – профессиональный отбор, медицинское обследование.

Итак, система «человек – социальная среда» – это сложное взаимодействие человека с его социальным окружением. Для обеспечения взаимной безопасности в системе требует-

ся профилактика опасностей и угроз и подготовка всех элементов этой системы к действиям в опасных ситуациях.

Защита от социальных опасностей – важнейшая функция государственных и общественных структур, которая заключается, прежде всего, в профилактических мероприятиях, направленных на ликвидацию этих опасностей. Кроме того, необходима соответствующая подготовка человека, позволяющая ему адекватно действовать в опасных ситуациях: психологическая, информационная, юридическая, силовая и т.д. Причем в процессе обучения нужно осваивать модели поведения, учитывающие конкретные ситуации.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- 1) Дисциплина «Безопасность жизнедеятельности» (БЖД) – одна из образовательных составляющих подготовки всесторонне развитой личности.

- 2) Курс БЖД позволит не только выработать привычки здорового образа жизни, но также научит:

- выявлять признаки потенциальных опасностей и, по возможности, устранять их, даже когда окружающие не замечают никакой угрозы;

- четко и полно представлять характер грозящих опасностей, предвидеть возможные варианты развития событий;

- принимать правильные меры по спасению и оказанию помощи себе и другим людям;
- действовать более уверенно и решительно в любой обстановке.

Все это будет способствовать морально-психологической закалке человека, уменьшению всех видов потерь в условиях чрезвычайных ситуаций, воспитанию решительных и умелых граждан, готовых к действиям в экстремальной обстановке.

ЛИТЕРАТУРА

1 Фролов, А.В. Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда [Текст] / А.В. Фролов, Т.Н. Бакаева. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2008.

2 Матющенко, И.Н. Формирование культуры безопасности жизнедеятельности в процессе обучения [Текст] / И.Н. Матющенко, Е.В. Батурина, Е.А. Рудыка // Сборник материалов V общероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы современной науки и образования», выпуск 1, Красноярск, Научно-инновационный центр, 2010. – С. 302-304.

3 Цаликов, Р.Х. Культура безопасности жизнедеятельности – системообразующий фактор снижения рисков ЧС [Текст] / Р.Х. Цаликов // Основы безопасности жизнедеятельности. – 2008. - №4. - С. 4-6.

4 Девисилов, В.А. Концептуальные подходы к модернизации дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» в системе высшего профессионального образования [Текст] / В.А. Девисилов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук: электронный журнал. - 2009. - Т. 11. - №4(6). - С. 1403-1410.

5 Матющенко, И.Н. Роль тестирования при изучении дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» [Текст] / И.Н. Матющенко, Е.В. Батурина, Е.А. Рудыка // В мире научных открытий. - 2012. - № 4.1 (28). - С. 80-90.

6 Девисилов, В.А. Содержание, структура и методика образования в области безопасности жизнедеятельности // Экология и промышленность России. - 2005. - №4. - С. 41-46.

7 Губанов, В.М. Чрезвычайные ситуации социального характера и защита от них [Электронный ресурс] / В.М. Губанов, Л.А. Михайлов, В.П. Соломин. – Режим доступа: <http://rudocs.exdat.com/docs/index-407977.html>. - Загл. с экрана.

8 Ярочкин, В.И. Секьюритология – наука о безопасности жизнедеятельности [Текст] / В.И. Ярочкин. - М., 2004.

REFERENCES

1 Frolov, A.V. Life safety. Occupational safety and health [Text] / A.V. Frolov, T.N. Bakaeva. - Rostov-on-Don: Phoenix, 2008.

2 Matyushchenko, I.N. Building a culture of life safety in the learning process [Text] / I.N. Matyushchenko, E.V. Baturina, E.A. Rudyka / Proceedings of the V – all Russian scientific-practical conference "Actual problems modern science and education ", issue 1, Krasnoyarsk, Research and innovation centre, 2010. - P. 302-304.

3 Tsalnikov, R.H. Culture of life safety - the system disaster risk reduction [Text] / A.D. Tsalnikov // Basic safety. - 2008. - № 4. - P. 4-6.

4 Devisilov, V.A. Conceptual approaches to the modernization of discipline "Safety" in the system of higher education [Text] / V.A. Devisilov // Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. - 2009. - V. 11. - № 4 (6). - P. 1403-1410.

5 Matyushchenko, I.N. The role of testing in the study of the discipline "Safety" [Text] / I.N. Matyushchenko, E.V. Baturina, E.A. Rudyka // In the world of scientific discovery. - 2012. - № 4.1 (28). - P. 80-90.

6 Devisilov, V.A. The content, structure and methods of education in the field of life safety // Ecology and industry of Russia. - 2005. - № 4. - P. 41-46.

7 Gubanov, V.M. Emergency situations social nature and protection from it [Electronic resource] / V.M. Gubanov, L.A. Mikhailov, V.P. Solomin. – Access mode: <http://rudocs.exdat.com/docs/index-407977.html>. - Title screen.

8 Yarochkin, V.I. Sekyuritologiya - the science of life safety [Text] / V.I. Yarochkin. - M., 2004.

Аспирант И.А. Деревянкин
(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.)

Разработка комплексной методики оценки инновационной активности предприятий пищевой промышленности

В статье рассматривается комплексная методика оценки инновационной активности предприятий пищевой промышленности путем расчета интегрального показателя на основе системы данных, включающей экономические составляющие инновационного потенциала организации и эффективности осуществления ею инновационной деятельности. Представлены результаты применения методики на пищевых предприятиях Воронежской области.

The article discusses the complex method of estimating the innovation activity of enterprises of food industry by calculating the integral index based on the data system that includes the economic dimensions of the innovation capacity of the organization and efficiency of its implementation of the innovation. The results of the application of the methodology on food enterprises Voronezh region are performed.

Ключевые слова: методика оценки, инновационная активность, инновационный потенциал, интегральный показатель.

Экономический рост и экономическое развитие предприятий пищевой промышленности в современных рыночных условиях зависят от состояния и уровня инновационной активности, оценка которой определяет возможности для создания и внедрения новшеств и представляет интерес для потенциальных инвесторов. Оценка инновационной активности является начальным этапом планирования инновационной деятельности и оценки инновационного развития предприятия в целом. Поэтому возникает объективная необходимость проведения исследования подходов к оценке инновационной активности современных предприятий.

В настоящее время единой методики расчета инновационной активности не существует, что объясняется сложностью разработки методического аппарата проводимого исследования, множеством подходов к определению инновационной активности и классификации инноваций, проблематичностью выделения факторов, влияющих на инновационную деятельность предприятий.

Методика представляет собой конкретный план действий на основе метода, создание инструкции, четкого алгоритма. Таким образом, реализация методики подразумевает разработку алгоритма ее проведения, который позволит сократить процедурную неопределенность и

повысить объективность при принятии управленческих решений. Содержание предлагаемой методики заключается в разработке способа измерения уровня инновационной активности предприятия путем расчета интегрального показателя на основе системы данных, включающей экономические составляющие инновационного потенциала организации и эффективности осуществления ею инновационной деятельности в целом. Информационной основой методики выступают данные бухгалтерской отчетности, планово-финансовой документации, документации научно-исследовательских и опытно-конструкторских служб предприятия, данные статистической отчетности, мнения экспертов в области инноватики. Субъектами проведения оценки инновационной активности могут выступать специалисты по управлению инновационными процессами на предприятии совместно с оценщиками интеллектуальной собственности, приглашенными со стороны. В связи с тем, что инновационная деятельность является стратегически важной, ряд сведений о состоянии экономических ресурсов и возможностей предприятия должны относиться к конфиденциальной информации.

Цель предлагаемой методики состоит в исследовании методологической базы оценки инновационной активности и создании руководящих материалов для проведения такой оценки. Для достижения поставленной цели необходимо решить комплекс задач, состав

которых определяет содержание этапов методики оценки инновационной активности.

На первом этапе необходимо определить частные показатели, характеризующие уровень инновационной активности предприятия. В рамках предлагаемой методики автор проводит оценку инновационной активности организации

по двум направлениям - оценка инновационного потенциала и эффективности осуществления инновационной деятельности на предприятии.

Система показателей оценки инновационной активности предприятия представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Система показателей оценки инновационной активности предприятия

Второй этап предлагаемой методики связан с нормированием частных показателей, характеризующих уровень инновационной активности предприятия. Необходимость нормирования показателей, применяемых для оценки инновационной активности организации, обусловлена двумя фактами. Во-первых, сами значения показателей не всегда являются достаточно информативными, во-вторых, в качестве объектов исследования выступают предприятия пищевой промышленности, которые различаются спецификой деятельности, размером, ресурсным обеспечением, устойчивостью функционирования и развития. Поэтому целесообразно проводить оценку показателей, характеризующих уровень инновационной ак-

тивности в сравнении с установленным базовым значением. В качестве базовых величин могут выступать показатели за предыдущие периоды, соответствующие показатели конкурентов, среднеотраслевые значения (медианные или среднеарифметические)[2].

В рамках данной методики автор предлагает проводить оценку каждой характеристики инновационной активности по отношению к соответствующему показателю компании-лидера – отраслевой организации с максимальным значением оцениваемой характеристики.

Обозначим x_i – частные показатели, характеризующие уровень инновационной активности, $i=1...n$, $Л_i$ – пронормированное значение частных характеристик, где в качестве базы для

сопоставления берутся эталонные значения (x_{is}), соответствующие наибольшему значению среди рассматриваемых предприятий (1):

$$J_i = \frac{x_i}{x_{is}} \quad (1)$$

Изменение пронормированных значений J_i происходит в диапазоне $[0;1]$. При этом значение показателя равное «1» означает, что компания является лидером в отношении данной характеристики, в то время как значение близкое к нулю – отсутствие инновационной активности по данному направлению.

Третий этап методики предполагает определение обобщающих показателей, характеризующих состояние качественной и количественной составляющих инновационного потенциала.

Расчет обобщающего показателя, характеризующего состояние количественной составляющей инновационного потенциала (IA_{p1}), следует проводить по формуле (2):

$$IA_{p1} = \sum_{i=1}^n q_i \sum_{a=1}^t q_a \cdot J_i, \quad (2)$$

где q_i – коэффициент значимости общих показателей (элементов количественной составляющей инновационного потенциала); q_a – коэффициенты значимости частных показателей, составляющих общие показатели; n – число общих показателей (элементов количественной составляющей инновационного потенциала); J_i – нормированные частные показатели количественной составляющей инновационного потенциала.

Расчет обобщающего показателя, характеризующего состояние качественной составляющей инновационного потенциала (IA_{p2}), следует проводить по формуле (3):

$$IA_{p2} = \sum_{j=1}^m q_j \sum_{b=1}^l q_b \cdot J_j, \quad (3)$$

где q_j – коэффициент значимости общих показателей (элементов качественной составляющей инновационного потенциала); q_b – коэффициенты значимости частных показателей, составляющих общие показатели; m – число общих показателей (элементов качественной составляющей инновационного потенциала); J_j – нормированные частные показатели качественной составляющей инновационного потенциала.

При проведении оценки следует учитывать, что каждый из элементов инновационного потенциала, формирующих качественный и количественные составляющие инновационного потенциала, отличается по степени своей значимости. Оценка значимости и определение доминирующих факторов, определяющих состояние инновационной деятельности, производится на основе

мнений экспертов, в качестве которых могут быть привлечены специалисты конструкторских и технологических подразделений, сотрудники финансовых и маркетинговых служб, а также работники научно-исследовательских подразделений предприятия, обладающие знаниями и навыками разработки, создания и внедрения новшеств.

Для решения поставленной задачи целесообразно использовать метод расстановки приоритетов, применение которого предполагает попарное сравнение вариантов решения проблемы по выбранным критериям.

Четвертый этап связан с определением обобщающих показателей, характеризующих эффективность осуществления инновационной деятельности на предприятии.

Для этого, в первую очередь, необходимо определить комплексные показатели оценки эффективности инновационной деятельности (I_{ei}), расчет которых следует проводить по формуле преобразования частных коэффициентов в единый комплексный показатель с использованием следующей формулы (4):

$$I_{ei} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i, \quad I_{ei}=[0;1], \quad (4)$$

где I_i – нормированное значение частных показателей оценки эффективности инновационной деятельности; $I_i=[0;1]$; n – количество частных показателей.

Расчет обобщающего показателя, характеризующего количественную составляющую эффективности инновационной деятельности (IA_{e1}), следует проводить по формуле (5):

$$IA_{e1} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n I_{ey} \cdot q_i, \quad IA_{e1}=[0;1], \quad (5)$$

где I_{ey} – значение комплексных показателей, характеризующих направления количественной оценки эффективности инновационной деятельности (финансовый результат, масштаб использования интеллектуальной собственности, обновляемость и динамика инновационного процесса); q_i – весовой коэффициент, определяющий значимость отдельных групп частных показателей ($0 \leq q_i \leq 1$); n – количество частных показателей в группе; m – количество групп показателей.

Расчет обобщающего показателя, характеризующего качественную составляющую эффективности инновационной деятельности (IA_{e2}), следует проводить по формуле (6):

$$IA_{e2} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n I_{ef} \cdot q_i, \quad IA_{e2}=[0;1], \quad (6)$$

где I_{ef} – значение комплексных показателей, характеризующих направления качественной оценки эффективности инновационной деятельности

(эффективность управления инновационной деятельностью, отношения партнерства и сотрудничества, эффективность и развитие персонала).

Пятый этап методики предполагает определение интегрального показателя инновационной активности предприятия.

Для оценки комплексного показателя инновационной активности организации автор предлагает использовать графический метод, в рамках которого интегральное значение инновационной активности определяется как площадь многоугольника, координаты четырех вершин которого соответствуют значениям количественной и качественной составляющей инновационного потенциала, а также значениям количественной и качественной составляющих эффективности инновационной деятельности.

На основе значений составляющих инновационной активности строится лепестковая диаграмма, являющаяся аналогом графика в полярной системе координат и отображающая распределение значений относительно начала координат. Площадь образовавшегося многоугольника отражает уровень текущей инновационной активности организации. Значение площади многоугольника определяется посредством нахождения площади треугольников, из которых состоит исследуемый многоугольник, при помощи следующей формулы (7):

$$S = \frac{1}{2} \sin \frac{360}{n} (\sum_{i=1}^{n-1} x_i x_{i+1} + x_n x_1), \quad (7)$$

где n – количество вершин многоугольника (количество треугольников); x_i – координата вершины многоугольника.

Таким образом, итоговая формула для определения интегрального показателя инновационной активности имеет вид (8):

$$IA = \frac{1}{2} (IA_{p1} \cdot IA_{p2} + IA_{p2} \cdot IA_{e1} + IA_{e1} \cdot IA_{e2} + IA_{e2} \cdot IA_{p1}) \quad (8)$$

где IA_{p1} , IA_{p2} – комплексные показатели оценки количественной и качественной составляющих инновационного потенциала; IA_{e1} , IA_{e2} – комплексные показатели оценки количественной и качественной составляющей эффективности инновационной деятельности.

Графическая интерпретация интегрального показателя способствует адекватному восприятию элементов, определяющих уровень инновационной активности организации. Имея аналогичные данные по конкурирующим организациям, можно проводить сравнительный анализ, выявляя изменения за несколько периодов, анализируя динамику инновационной активности [3].

Шестой этап связан с формализацией полученных результатов оценки уровня инновационной активности предприятия, с их качественной и количественной интерпретацией. Для решения поставленной задачи следует воспользоваться функцией желательности, разработанной Е. Харрингтоном, которая имеет вид (9):

$$d = \frac{1}{e} \sqrt[y]{e} \quad (9)$$

где e – основание натурального логарифма, y – значение показателя, характеризующего отличия уровней активности инновационной деятельности (значение y изменяется в пределах от -2 до +5). Функция d – в интервале $[0;1]$ и используется в качестве безразмерной шкалы для оценки уровня инновационной активности. Каждому фактическому значению функции желательности придается конкретный экономический смысл, который связан с уровнем инновационной активности изучаемого объекта [1]. Промежуточные значения функции желательности, характеризующие уровни инновационной активности и их экономическая характеристика приведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Характеристика значений уровня инновационной активности

Значение функции желательности	Характеристика уровня инновационной активности
1	Абсолютный уровень
1-0,8	Максимально высокий уровень
0,8-0,63	Высокий уровень
0,63-0,37	Средний уровень
0,37-0,2	Низкий уровень
0,2-0	Минимально низкий уровень
0	Отсутствие инновационной деятельности

В заключение реализации методики следует выявить возможности повышения инновационной активности предприятия, которые можно сгруппировать по нескольким направлениям: управление инновационным потенциалом; управление инновационной деятельностью; финансовые отношения и инвестиции.

Апробация предлагаемой методики, проведенная на предприятиях Воронежской области (ОАО «Завод растительных масел «Бутурлиновский», ОАО «Молочный комбинат «Воронежский» (Молвест), ОАО «Воронежская макаронная фабрика», ОАО «Молоко» (Россошь), ООО «Давыдовский овощесу-

шипный завод»), показала невысокий уровень инновационной активности предприятий пищевой промышленности в нашем регионе.

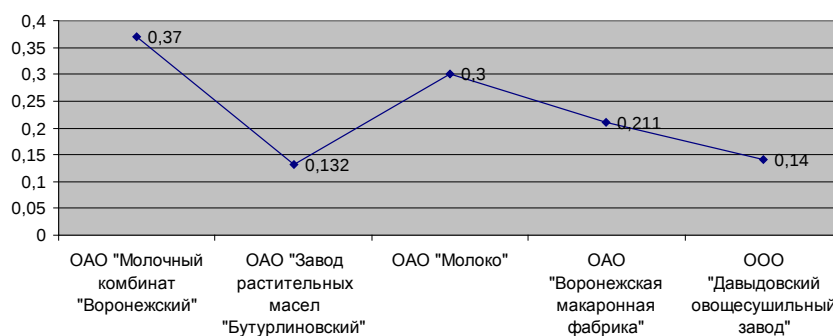
Обобщенные результаты оценки инновационной активности пищевых предприятий региона приведены в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

Результаты оценки инновационной активности пищевых предприятий

№ п/п	Предприятия	Уровень инновационной активности	
		Значение	Характеристика
1	ОАО «Молочный комбинат «Воронежский»	0,37	Средний уровень
2	ОАО «Завод растительных масел «Бутурлиновский»	0,13	Минимально низкий уровень
3	ОАО «Молоко»	0,30	Низкий уровень
4	ОАО «Воронежская макаронная фабрика»	0,21	Низкий уровень
5	ООО «Давыдовский овощесушильный завод»	0,14	Минимально низкий уровень

Графическая иллюстрация результатов оценки инновационной активности предприятий



тий пищевой промышленности Воронежской области представлена на рисунке 2.

Рисунок 2 – Результаты оценки инновационной активности пищевых предприятий Воронежской области

При рассмотрении составляющих интегрального показателя инновационной активности мы обратили внимание на превышение значений оценки инновационного потенциала над эффективностью осуществления инновационной деятельности организациями. Сложившаяся ситуация объясняется наличием на предприятиях научно-технического задела, производственных возможностей выпуска инноваций и наличием квалифицированного персонала. При этом возможность реализации имеющихся инновационных ресурсов предприятиями используется не в полной мере, что свидетельствует о недостаточности финансирования для внедрения новшеств и слабой восприимчивости предприятий пищевого сектора к инновациям. Поэтому в целях обеспечения устойчивого экономического роста предприятиям необходимо выявлять возможности повышения инновационной активности. Одним из направлений совершенствования инновационной деятельности на предприятии в условиях неопределенности и повышенного риска является рациональный выбор объектов инновационной деятельности, представленных в виде инновационных проектов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Анисимов, Ю.П. Бизнес-планирование инноваций [Текст] / Ю.П. Анисимов, Е.В. Солнцева, В.И. Штефан и др. – Воронеж: Научная книга, 2008. – 558 с.
- 2 Анисимов, Ю.П. Мониторинг состояния и пути развития инновационного бизнеса региона [Текст]: монография / Ю.П. Анисимов, П.А. Грачев, С.В. Шапошникова. – Воронеж: ВОРОНЕЖИНТЕХ, 2006. – 324 с.
- 3 Реутов, А.Ю. Разработка методики комплексной оценки инновационной активности организации [Текст] / А.Ю. Реутов // Инновации. – 2012. - № 5. - С. 12-19.

REFERENCES

- 1 Anisimov, U.P. Business innovation planning [Text] / U.P. Anisimov, E.V. Solntseva, V.I. Stefan et al. – Voronezh: Nauchnaya kniga, 2008. – 558 p.
- 2 Anisimov, U.P. Monitoring the status and ways of development of innovative business regions: monograph [Text] / U.P. Anisimov, P.A. Grachev, S.V. Shaposhnikova. – Voronezh: VORONEZHINTEH, 2006. – 324 p.
- 3 Reutov, A.U. Development of methodology for comprehensive evaluation of innovative activity of organization [Text] / A.U. Reutov // Innovations. – 2012. - №5. - P.12-19.

Профессор Н.В. Сироткина, А.В. Брякина
(Воронеж. гос. ун-т) кафедра экономики и управления организациями

Инструментальное обеспечение индикативного управления предприятиями пищевой промышленности и его совершенствование

Статья посвящена инструментам индикативного управления промышленными предприятиями, представляющими собой средства принятия объективных и оперативных управленческих решений, проведения теоретических исследований, а также осуществления управленческих воздействий на основе аналитических и прогнозных оценок индикаторов управления.

The article is devoted to instruments of indicative management of industrial enterprises, which represent a means of making objective and operational administration solutions, theoretical research, as well as the implementation of management actions on the basis of the analytical and forecasting estimates management indicator.

Ключевые слова: индикативное управление, аналитическая оценка, прогнозная оценка.

Сравнительные преимущества индикаторов управления промышленными предприятиями, такие как наглядность и информативность, обуславливают все возрастающий интерес к этому аналитическому приему, лежащему в основе целого направления экономических исследований – индикативного управления.

Формирование представлений об индикативном управлении происходит достаточно динамично, однако нуждается в методическом и инструментальном обеспечении. Выделение и содержательная интерпретация оригинальных методов и инструментов способны сформировать представление об индикативном управлении как об области знаний, раскрывающей механизм интегрального учета индикаторов, характеризующих приоритетные направления развития промышленных предприятий и подлежащих аналитической оценке, являющейся основанием для принятия управленческих решений. Кроме этого, концептуальные особенности индикативного управления (формирование системы индикаторов, применение системы индикаторов в аналитических целях, использование эталонных значений индикаторов в качестве критерия компарирования отраслевых предприятий, реализация промышленными предприятиями сценарного подхода к управлению, учитывающего достигнутые индикаторами значения) предполагают проведение научного поиска инструментов, позволяющих наиболее эффективно реализовать функции управления, используя в качестве аналитической базы принятия управленческих решений численные значения индикаторов.

В постановочных целях требует уточнения понятие «индикативное управление». В соответствии с концепцией, предложенной Н.В. Сироткиной, индикативное управление промышленными предприятиями представляет собой последовательную реализацию управленческих действий, обособленных в функции управления, основывающуюся на аналитической оценке фактических (расчетных) и прогнозных значений индикаторов управления [1].

Особенностью, позволяющей демаркировать индикативное управление, является использование при реализации его функционального содержания индикаторов, рассчитываемых как цепные индексы с тем, чтобы получить представление не только о количественном изменении исследуемого процесса, произошедшем в динамике, но и о его направленности (качественном изменении) [1].

В промышленном секторе национальной экономики, занимающемся производством продовольственных товаров, индикативное управление имеет следующие характерные черты:

- индикативное управление предприятиями пищевой промышленности представляет собой комплексный континуальный процесс планирования и организации производства продуктов питания из сырья растительного и животного происхождения, сопровождаемый мотивацией человеческих ресурсов перерабатывающих предприятий к более производительному труду и контролируемый с позиций достижения индикаторами управления эталонных значений;

- принимаемые менеджментом перерабатывающих предприятий управленческие решения должны опираться на анализ индикато-

ров, учитывающих консерватизм пищевой промышленности, проявляющийся в слабой развитости инновационной деятельности, преобладании персонала, отличающегося низкой инновационной и мотивационной восприимчивостью, применением традиционных технологий и оборудования;

- методическое обеспечение индикативного управления предприятиями пищевой промышленности должно способствовать получению прогнозных оценок перспектив развития отраслевых предприятий, учитывающих высокую вероятность возникновения форс-мажорных ситуаций, необходимость обеспечения экономически целесообразного уровня использования производственных мощностей, наличие высоко конкурентной среды на рынке продовольствия, обусловленной присутствием большого числа производителей [2].

Методами индикативного управления предприятиями пищевой промышленности являются способы осуществления теоретических исследований, получения аналитических оценок, проведения прогнозных расчетов, мониторинга и диагностики сложившейся на отраслевых предприятиях ситуации, а также практической реализации эффективных управленческих воздействий, основанные на интегральном учете индикаторов управления, характеризующих параметры развития промышленных предприятий.

Целью совершенствования теоретико-методических подходов к индикативному управлению является повышение эффективности разработки и принятия управленческих решений, основывающихся на анализе фактических и прогнозных значений индикаторов и способствующих развитию предприятий пищевой промышленности в приоритетных для них направлениях. В условиях конкурентной среды эффективность разработки и реализации управленческих решений зависит от оперативности управленческой деятельности менеджеров.

Этапами процедуры принятия управленческих решений с помощью индикаторов управления являются:

1. Постановочный этап, предполагающий использование аксиоматического подхо-

да, позволяющего рассматривать способ расчета индикаторов как цепных индексов в качестве исходного положения.

2. Выделение приоритетных направлений развития предприятий пищевой промышленности. В ходе исследования на основе экспертного оценивания было установлено, что приоритетными направлениями менеджмента промышленных предприятий являются: управление качеством бизнес процессов (УКБП), управление человеческими ресурсами (УЧР), управление интеграционными процессами (УИП), управление инновационной деятельностью (УИД).

3. Определение функционального содержания менеджмента предприятий пищевой промышленности. Отвечая содержательным требованиям, предъявляемым к управленческой деятельности, индикативное управление находит свою реализацию в следующих функциях: планирование и организация производственного процесса, мотивация человеческих ресурсов к производительному труду, контроль достижения целей и решения задач, стоящих перед предприятием. Следует заметить, что индикативное планирование, заключающееся в совместной разработке органами власти, бизнесом и институтами гражданского общества планов мезо- и макроэкономического развития, носящих рекомендательный характер [3], не является тождественным функции индикативного планирования, под которой в исследовании понимается определение целевых ориентиров деятельности предприятия с использованием численных значений индикаторов управления.

4. Визуализация взаимозависимости функционального содержания индикативного управления и приоритетных направлений развития предприятий пищевой промышленности в виде матрицы, содержащей в себе соответствующие индикаторы управления (таблица 1).

5. Расчет численных значений индикаторов управления по совокупности исследуемых предприятий.

6. Балльная оценка индикаторов управления в соответствии со шкалой, позволяющей дифференцировать степень и направленность динамических изменений значений индикаторов.

Индикаторы управления предприятиями пищевой промышленности, 2012 г

Функции ИУ	Направления развития	Индикатор управления	Значения индикаторов (%) / Балльная оценка			
			Комбинат мясной «Воронежский»	Завод растительных масел «Новохоперский»	Мукомольный комбинат «Воронежский»	Хлебозавод «Золотой колос»
ПЛАНИРОВАНИЕ	УКБП	Оптимизация загрузки производственной мощности	+13,7/2	+16,7/2	+16,3/2	+33,7/4
		Рост эффективности производства	+18,9/2	+38,9/4	+26,4/3	+24,5/3
		Рост конкурентоспособности	+29,5/3	+29,3/3	+19,5/2	+25,6/3
	УЧР	Сокращение текучести кадров	-12,9/2	-16,4/2	-35,6/4	-12,9/2
		Повышение производительности труда	+12,8/2	+22,8/3	+32,3/4	+16,8/2
	УИП	Рост капитализации предприятия	+69,7/7	+55,7/6	+22,66/3	+53,6/6
	УИД	Повышение числа инновационно-активных подразделений предприятия	+14,8/2	+15,8/2	+24,4/3	+44,8/5
		Повышение численности инновационно-активного персонала	+83,7/9	+33,7/4	+46,6/5	+43,7/5
ОРГАНИЗАЦИЯ	УКБП	Повышение интенсивности рабочих процессов	+14,7/2	+24,1/3	+18,1/2	+29,1/3
	УЧР	Оптимизация численности линейного и функционального персонала	+10,8/2	+20,4/3	+17,9/2	+19,4/3
	УИП	Повышение инвестиционной привлекательности предприятия	+41,21/5	+31,8/4	+22,8/3	+51,3/4
		Повышение ROI	+32,12/4	+42,2/5	+32,6/4	+62,8/7
	УИД	Повышение удельного веса инновационной продукции	+54,6/6	+44,3/5	+36,3/4	+64,3/7
МОТИВАЦИЯ	УКБП	Сокращение времени простоев по непроизводственным причинам	-70,2/8	-50,7/6	-56,9/6	-59,7/6
	УЧР	Повышение интенсивности использования фонда рабочего времени	+9,87/1	+13,89/2	+29,8/3	+19,9/2
		Повышение удовлетворенности условиями труда и его оплаты	+14,9/1	+24,9/3	+14,9/2	+17,9/2
	УИП	Снижения затрат на сырье	+5,5/1	+25,6/3	+15,6/2	+25,9/3
	УИД	Повышение численности персонала, совмещающего профессии	+10,7/2	+15,3/2	+17,5/2	+16,3/2
КОНТРОЛЬ	УКБП	Повышение автоматизации	+55,3/6	+58,5/6	+38,5/4	+78,5/8
		Повышение оперативности	+41,2/5	+31,2/4	+21,2/3	+71,2/8
	УЧР	Рост удельного веса работников со стажем работы 5 и более лет	+19,3/2	+39,3/4	+29,5/3	+66,3/7
	УИП	Удельный вес продукции предприятия на локальном рынке	+24,5/3	+24,6/3	+26,3/3	+24,6/3
		Повышение регламентированности	+7,12/1	+17,5/2	+23,0/3	+87,5/9
	УИД	Увеличение горизонта планирования	+13,3/2	+18,6/2	+17,6/2	+48,6/5
		Повышения номенклатуры	+43,4/5	+47,7/5	+57,7/6	+67,7/7
	Итоговая балльная оценка		0,38	0,58	0,54	0,52

7. Расчет итоговой балльной оценки, характеризующей приращение (убывание) значения индикатора, как частного от деления суммы баллов на произведение максимальной величины балльной оценки и количества наблюдений.

8. Разработка сценариев поведения предприятий пищевой промышленности в зависимости от значения полученной ими итоговой балльной оценки.

На основе кластерного анализа была проведена группировка предприятий пищевой промышленности в зависимости от полученных ими значений индикаторов и итоговых балльных оценок. Для каждой группы были разработаны универсальные, не зависящие от характера выпускаемой предприятием готовой продукции, рекомендации, позволяющие сочетать в управленческой практике методы и инструменты индикативного управления (ИУ) (таблица 2).

Вариация сценариев развития предприятий пищевой промышленности

Группировка предприятий пищевой промышленности		Сценарий поведения предприятия в отрасли и на рынке
диапазон балльных оценок	состав кластера	
< 0,1 (очень плохо)	КМ «Лискинский», хлебозавод «Тобус»	Применение <i>аналитических</i> методов ИУ с целью установления причин, вызвавших неудовлетворительное состояние предприятия
0,1-0,19 (плохо)	Консервный завод «Давыдовский», МК «Остро-гожскмолоко»	Применение <i>прогнозных</i> методов ИУ с целью определения целесообразности совершенствования производственной деятельности, финансового оздоровления или возбуждения процедуры банкротства. Реализация <i>практических</i> методов ИУ, позволяющих повысить эффективность принимаемых менеджментом предприятий пищевой промышленности решений
0,2-0,29 (сдержанно)	Сырзавод «Калачевский», ЛВЗ «Бутурлиновский», «Россошьмолоко», хлебозавод № 1	Использование <i>аналитических</i> методов ИУ, позволяющих провести экспертизу факторов, сдерживающих развитие предприятий пищевой и перерабатывающей промышленности. Использование <i>расчетных</i> методов, позволяющих выявить резервы оптимизации загрузки производственных мощностей, минимизации издержек и повышения экономической эффективности производства. Реализация <i>практических</i> методов и инструментов ИУ, способствующих повышению удельного веса продукции предприятия на рынке и закреплению за ней положительной репутации
0,3-0,39 (умеренно)	КМ «Воронежский»	Применение <i>аналитических</i> и <i>расчетных</i> методов ИУ, актуализирующих перспективы развития предприятия
0,4-0,49 (хорошо)	МК «Калачеевский», хлебозавод № 2	Применение <i>расчетных</i> методов ИУ, моделирующих вариации ресурсного обеспечения перерабатывающих предприятий, <i>аналитических</i> методов ИУ, определяющих перспективы диверсификации производства и <i>прогнозных</i> методов ИУ, являющихся основанием для разработки мер превентивного характера
0,5-0,59 (очень хорошо)	ЗРМ «Новохоперский», мукомольный комбинат «Воронежский», «Золотой Колос»	Реализация преимущественно <i>практических</i> методов ИУ, направленная на поддержание устойчивого состояния предприятия
>0,6 (идеально)	«Молвест», «Бунге»	Реализация в управленческой практике <i>исследовательских</i> (гносеологических) методов ИУ, позволяющих совершенствовать технологию и развивать перспективные направления использования индикаторов в качестве целевых ориентиров деятельности промышленных предприятий.

Комплексная и последовательная реализация представленных в таблице 2 сценариев позволит предприятиям-аутсайдерам повысить свою результативность и перейти в кластер более устойчивых предприятий, а предприятиям-лидерам – укрепить свои конкурентные позиции.

1. Интерпретация полученных результатов.

Полученная с помощью кластерного анализа группировка предприятий пищевой промышленности является намного более достоверной, чем распределение с помощью портфельных моделей, так как позволяет широко интерпретировать результаты в зависимости от целей исследования. Так, проведя

оценку наиболее значимых параметров функционирования перерабатывающих предприятий, полученные кластеры были расположены по убыванию величины итоговой балльной оценки и проранжированы следующим образом: (1) - лидеры рынка; (2) – предприятия, активно продвигающие свою продукцию; (3) – предприятия, продвигающие продукцию среднего качества по низким ценам; (4) – нестабильно присутствующие на рынке предприятия; (5) – предприятия, выпускающие популярные ассортиментные единицы; (6) – производители одной популярной ассортиментной единицы; (7) региональные лидеры, не получившие широкого распространения.

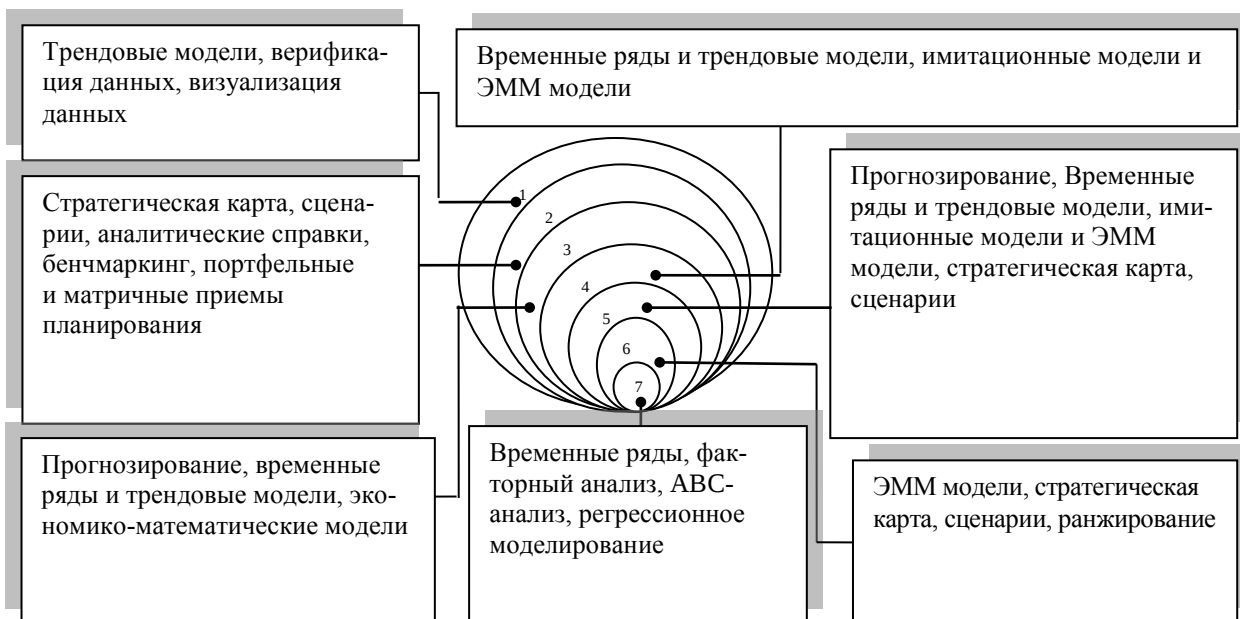
2. Прогнозирование состояния предприятия на рынке выпускаемой продукции.

Рыночная устойчивость и экономическая эффективность функционирования предприятий пищевой промышленности зависит от того, насколько уникальными являются методы и инструменты управления ими. Анализ полученных кластеров позволяет прогнозировать следующие изменения. Наименее устойчивыми представляются кластеры: (2), объединяющие развивающиеся предприятия, которые с одинаковой вероятностью могут оказаться в числе лидеров и аутсайдеров; (6), выпускающие не достаточное количество ассортиментных единиц продукции; (4), отличающиеся несовершенными каналами распределения продукции. Высказанная гипотеза была подтверждена в ходе построения треугольной матрицы распределения расстояний между кластерами.

Реализация сценарного подхода предполагает комплексное использование в практике управления предприятиями пищевой промышленности методов, а также инструментов индикативного управления (рисунок 3).

Под инструментами индикативного управления предприятиями пищевой промышленности в исследовании понимаются средства реализации управленческой деятельности, обеспечивающие развитие предприятия по приоритетным для него направлениям, соответствующие обоснованным и заранее отобранным методам индикативного управления.

Инструменты индикативного управления позволяют реализовать все многообразие видов управленческой деятельности и обеспечить системное развитие предприятия посредством управления качеством бизнес-процессов, человеческими ресурсами, интеграционными процессами и инновационной деятельностью. Однако в условиях конкурентной среды устойчивость и результативность функционирования предприятия во многом зависит от оперативности принятия управленческих решений, что обуславливает необходимость выбора наиболее эффективного варианта согласования методов и инструментов управления, адекватных сложившейся ситуации.



Обозначения: 1 – область реализации (кластер), характеризующаяся превышением значения итоговой балльной оценки индикаторов управления 0,6 и предполагающая применение исследовательских методов ИУ; 2 – диапазон итоговых балльных оценок от 0,5 до 0,59, применение практических методов ИУ; 3 – диапазон итоговых балльных оценок от 0,4 до 0,49, применение расчетных, аналитических и прогнозных методов ИУ; 4 – диапазон итоговых балльных оценок от 0,3 до 0,39, применение аналитических, прогнозных и расчетных методов ИУ; 5 – диапазон итоговых балльных оценок от 0,2 до 0,29, применение аналитических, расчетных и практических методов ИУ; 6 – диапазон итоговых балльных оценок от 0,1 до 0,19, применение прогнозных и практических методов ИУ; 7 – область реализации, характеризующаяся значением итоговой балльной оценки индикаторов управления менее 0,1 и предполагающая применение аналитических методов ИУ.

Рисунок 1 – Инструменты индикативного управления предприятиями пищевой промышленности

В ходе исследования была построена регрессионная модель, описывающая зависимость между эффективностью производственно-хозяйственной деятельности и факторами [4], оказывающими на нее влияние, причем основная цель моделирования заключалась не в прогнозировании динамики результирующего показателя, а в определении наиболее значимых для достижения экономической эффективности параметров с тем, чтобы разработать различные варианты сочетания средств и методов индикативного управления, подлежащих реализации в целях обеспечения роста экономической эффективности производства:

$$Y = 12,31 + 1,25X_3 + 0,73X_7 + 0,81X_{19} + 0,47X_{23}, \quad (1)$$

где $Y(t)$ – рентабельность продаж, %; X_3 – объем реализованной продукции, млн.р.; X_7 – коэффициент использования производственной мощности, %; X_{19} – емкость рынка, млн.р.; X_{23} – производительность труда, тыс.р./чел.

Комментируя результаты построения корреляционно-регрессионной модели, следует признать, что отобранные показатели действительно влияют на экономическую эффективность производства перерабатывающих предприятий, а также позволяют оценить эффективность управленческих воздействий:

- увеличение объема реализованной продукции позволяет оценить эффективность управления качеством бизнес-процессов, так как его приращение является индикатором повышения потребительской привлекательности продукции предприятия;

- повышение производительности труда свидетельствует об эффективности управленческих воздействий на человеческие ресурсы предприятия;

- коэффициент использования производственной мощности является индикатором эффективной организации сырьевого обеспечения перерабатывающих предприятий за счет установления интеграционных связей с поставщиками сырья, так как дефицит сырья является фактором, лимитирующим эффективное функционирование предприятий пищевой промышленности;

- прирост емкости рынка указывает на эффективность инновационной деятельности, результатом которой является производство

отличной от конкурентов продукции, пользующейся покупательским спросом.

Учитывая значимость указанных показателей для уровня экономической эффективности производства, автором была принята попытка оценить приращение (убывание) их значений в результате комплексного применения в управленческой практике различных вариантов согласования инструментов и методов индикативного управления (таблица 3) и разработан соответствующий методический подход к оценке вариантов согласования инструментов и методов индикативного управления предприятиями, включающий в себя следующие этапы:

- 1) определение областей дифференцированной реализации инструментов (аналитических, прогнозных, расчетных, исследовательских, практических) и методов (визуализация данных, построение трендовых моделей, верификация данных, построение временных рядов, разработка имитационных моделей, разработка экономико-математических моделей, построение стратегической карты, составление сценариев, подготовка аналитических справок, бенчмаркинг, портфельные и матричные приемы планирования, прогнозирование, факторный анализ, АВС-анализ, регрессионное моделирование, ранжирование) индикативного управления, ограниченных итоговыми балльными оценками значений индикаторов управления;

- 2) формирование семи вариантов согласования инструментов и методов индикативного управления, соответствующих кластерам перерабатывающих предприятий;

- 3) совместное применение экспертного оценивания, метода экстраполяции и других исследовательских приемов в целях получения индикаторной оценки наиболее значимых для достижения экономической эффективности производства факторов (объем реализованной продукции, млн.р.; коэффициент использования производственной мощности, %; производительность труда, тыс.р./чел.; емкость рынка, млн.р.), характеризующих также эффективность управленческих воздействий;

- 4) статистическая обработка полученных индикаторных оценок, позволяющая выявить наиболее эффективный вариант согласования инструментов и методов индикативного управления.

Оценка вариантов согласования инструментов и методов индикативного управления
(на примере ЗАО «Молвест»)

Показатели	Варианты согласования инструментов и методов ИУ						
	1	2	3	4	5	6	7
Объем реализованной продукции	+13,01	+28,13	+15,25	+17,73	+34,19	+35,02	+23,12
Производительность труда	+8,37	+23,14	+15,45	+22,25	+19,13	+17,13	+12,56
Коэффициент использования производственной мощности	-31,23	+12,18	-21,44	+13,11	-12,07	+5,82	+10,35
Емкость рынка	+9,64	+35,81	+12,27	+13,05	+8,92	+14,37	+9,34
Коэффициент ранговой корреляции (инверсионный)	0	0,67	0	0,33	0,33	0,67	0,35
Коэффициент ранговой корреляции (по отклонениям)	0,19	0,79	0	0,39	0,38	0,38	0,29
Итоговая скалярная оценка	0,3	0,75	0,25	0,47	0,47	0,58	0,57

Как видно из таблицы 3 второй вариант согласования инструментов и методов индикативного управления получает итоговую скалярную оценку в большей степени приближенную к единице (0,75), что позволяет сделать вывод о перспективности реализации в практике управления ЗАО «Молвест» практических методов индикативного управления, направленных на поддержание его устойчивого состояния посредством следующих инструментов: построение стратегической карты, составление сценариев, подготовка аналитических справок, бенчмаркинг, портфельные и матричные приемы планирования.

Именно такое сочетание инструментов и методов индикативного управления является наиболее эффективным для предприятия, что подтверждается существенным по сравнению с остальными вариантами приростом таких показателей, как объем реализованной продукции, прибыль от реализации продукции, емкость рынка, производительность труда.

В заключение следует отметить, что инструменты и методы индикативного управления составными элементами входят в механизм индикативного управления промышленными предприятиями, определяют характер, содержание и последовательность действий, необходимых для осуществления эффективного управления предприятиями на основе анализа достигнутых индикаторами управления значений или их прогнозных оценок.

В соответствии с авторской позицией инструментами индикативного управления предприятиями пищевой промышленности являются: визуализация данных; построение трендовых моделей; верификация данных; построение временных рядов; разработка имита-

ционных моделей; разработка экономико-математических моделей; построение стратегической карты; составление сценариев; подготовка аналитических справок; бенчмаркинг; портфельные и матричные приемы планирования; прогнозирование; факторный анализ; ABC-анализ; регрессионное моделирование; ранжирование. Применение указанных инструментов следует осуществлять согласованно с методами индикативного управления в зависимости от того, к какому кластеру по уровню итоговой балльной оценки индикаторов принадлежит предприятие.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Сироткина, Н.В. Концепция индикативного управления предприятиями пищевой промышленности [Текст] / Н.В. Сироткина // Российское предпринимательство. – 2008. – Вып. 1. – № 6. – С. 118-122.
- 2 Сироткина, Н.В. Процедура индикативного управления предприятиями пищевой промышленности [Текст] / Н.В. Сироткина, А.В. Брякина // Регион: системы, экономика, управление. – 2013. – № 3. – С. 77-82.
- 3 Сироткина, Н.В. Концептуальные положения разработки перспектив развития экономики региона [Текст] / Н.В. Сироткина, А.А. Зайцев // ФЭС: финансы, экономика, стратегия. – 2013. – № 4. – С. 37-45.
- 4 Брякина, А.В. Методы и инструменты эффективного менеджмента промышленных организаций [Текст] / А.В. Брякина // АНОО ВПО «ВЭПИ» мультидисциплинарный научно-практический журнал «Территория науки». – 2010. – № 15(16). – С. 9–13.

5 Сироткина, Н.В. Перспективы использования индикативного управления при прогнозировании параметров развития интегрированных формирований [Текст] / Н.В. Сироткина, С.И. Карпачев // Человеческий капитал. - 2011. - № 4. - С. 118-121.

REFERENCES

1 Sirotkina, N.V. Indicative management concept of the food industry [Text] / N.V. Sirotkina // Russian entrepreneurship. - 2008. - Issue. 1. - № 6. - p. 118-122.

2 Sirotkina, N.V. Procedure indicative management food industry [Text] / N.V. Sirotkina, A.V. Bryakina // Region: the system, economics, management. - 2013. - № 3. - P. 77-82.

3 Sirotkina, N.V. Conceptual positions developing prospects of development of the economy of the region [Text] / N.V. Sirotkina, A.A. Zaitsev // FES: finance, economics, strategy. - 2013. - № 4. - P. 37-45.

4 Bryakina, A.V. Methods and tools for efficient management of industrial organizations [Text] / A.V. Bryakina // ANEO HE "VIEL" multi-disciplinary scientific journal "The area of science". - 2010. - № 15 (16). - P. 9-13.

5 Sirotkina, N.V. Prospects for the use of indicative control parameters in predicting the development of integrated units [Text] / N.V. Sirotkina, S.I. Karpachev // Human capital. - 2011. - № 4. - P. 118-121.

Аспирант Е.В. Юров
(ГНУ НИИЭОАПК ЦЧР России Россельхозакадемии)

Обоснование перспектив развития малых форм хозяйствования

В статье рассматриваются приоритетные направления формирования и регулирования параметров производственных систем крестьянских (фермерских) хозяйств, предлагается модель оптимизации их размещения, определяются основные этапы и дается характеристика каждому из них.

In article the priority directions of formation and regulation of parameters of production systems of country (farmer) farms are considered, the model of optimization their placement is offered, the main stages are defined and the characteristic is given to each of them.

Ключевые слова: крестьянские (фермерские) хозяйства, оптимальный план, модель оптимизации размещения крестьянских (фермерских) хозяйств.

Важная роль в аграрной сфере АПК России принадлежит малым формам хозяйствования, развитие которых является важнейшим условием преодоления социально-экономического кризиса в селе, служит залогом выживаемости сельских жителей и ведет к стабилизации сельской экономики, формированию ее рациональной структуры и конкурентной среды.

В современных условиях основными структурными элементами, формирующими данный сектор экономики, остаются крестьянские (фермерские) хозяйства и хозяйства населения, имеющие высокий уровень товарности производимой сельскохозяйственной продукции. В то же время главенствующей формой, устойчиво развивающейся в современных условиях и сохраняющей в перспективе предпринимательский характер, являются крестьянские (фермерские) хозяйства.

Перспективы развития крестьянских (фермерских) хозяйств на районном уровне необходимо определять, исходя из уровня их ресурсообеспеченности и степени сбалансированности используемых ресурсов (земельных, трудовых, основных и оборотных средств), объединенных совокупностью объективно существующих отношений и используемых технологий.

Следует отметить, что в крестьянских (фермерских) хозяйствах физические ограничения ресурсов не являются единственным фактором, определяющим масштаб производства. Исходя из того, что все ресурсы могут

использоваться в различных комбинациях при производстве различных видов продукции, возникает целая группа аспектов, оказывающих прямое или косвенное влияние на масштаб как всей производственной системы, так и отдельных ее подсистем. К основным из них относятся:

- количество отраслей, развиваемых крестьянским (фермерским) хозяйством или объединением хозяйств;
- капиталоемкость каждой отдельной отрасли;
- технологическая гибкость отдельной отрасли или группы отраслей;
- степень маневрирования всеми видами ресурсов;
- наличие узкоспециализированных видов основных средств;
- конфигурация хозяйства и т.д.

К приоритетным направлениям формирования и регулирования параметров производственных систем крестьянских (фермерских) хозяйств, как правило, относят:

- изменение масштабов производства, позволяющее соблюдать оптимальность ресурсных пропорций;
- корректировку производственного направления за счет обеспечения приоритета наименее капиталоемким, но эффективным отраслям;
- внедрение гибких технологий, обеспечивающих достаточную свободу маневра всеми видами имеющихся ресурсов;
- формирование производственной системы с таким объемом и графиком финансовых потоков, который обеспечивал бы мини-

мальную зависимость от заемных средств до тех пор, пока не будет отлажен механизм эффективного, с точки зрения сельского предпринимателя, кредитования сельского хозяйства.

Важнейшим фактором совершенствования территориально-отраслевой структуры сельскохозяйственного производства в современных экономических условиях становится углубление специализации путем концентрации фермерского производства в тех зонах, которые обеспечивают наивысшую эффективность. Выявление подобных зон на территории района позволяет, с одной стороны, выявить специфику условий и результатов сельскохозяйственного производства, а с другой – выделить территории, имеющие общность аграрных проблем. Помимо этого, зональные уровни развития отраслей растениеводства и животноводства оказывают непосредственное влияние на специализацию крестьянских (фермерских) хозяйств.

При оптимизации размещения крестьянских (фермерских) хозяйств необходимо учитывать стратегическое развитие сельского хозяйства, а также размещение перерабатывающей промышленности, основанной на анализе и оценке потенциальных сырьевых зон, диверсификации сельского хозяйства. Стратегия развития малых форм хозяйствования районного уровня на долгосрочный период должна предусматривать четкое определение сырьевых зон для вновь создаваемых субъектов III сферы АПК и учитывать интересы хозяйств, сельских социумов, местных органов власти.

В этой связи представляется целесообразной разработка оптимального плана размещения крестьянских (фермерских) хозяйств в районе, включающего следующие этапы:

- определение тактических и стратегических целей развития сельского хозяйства, отвечающих общим целям стратегии и тактики социально-экономического развития района;

- инвентаризация ресурсного потенциала отрасли в разрезе крестьянских (фермерских) хозяйств;

- инвентаризация перерабатывающих предприятий (с учетом износа) и объектов производственной инфраструктуры (элеваторов, хранилищ и т.д.) с определением производственных мощностей, уровня их загрузки и сырьевых зон;

- определение и картографическое размещение тактических и стратегических узловых точек;

- выбор критериев оптимизации размещения крестьянских (фермерских) хозяйств;

- разработка оптимального плана размещения крестьянских (фермерских) хозяйств района;

- разработка оптимального стратегического плана размещения перерабатывающей промышленности и объектов производственной инфраструктуры;

- корректировка полученных планов.

Центральным звеном комплексной программы, способной дать импульс дальнейшему развитию крестьянских (фермерских) хозяйств района, является разработка единой интегральной модели оптимизации размещения фермерского производства на основе метода многоуровневой оптимизации. Такой подход к построению модели позволит получить наилучший план размещения крестьянских (фермерских) хозяйств при одновременном учете многочисленных условий и факторов, поскольку процесс оптимизации будет иметь в своей основе информацию, полученную с «нижнего» уровня (в соответствии с иерархией управления). Схема предлагаемой модели представлена на рисунке 1.

На первом этапе определяются сельскохозяйственные зоны района путем зональной специализации, размещения и концентрации сельского хозяйства, и устанавливается степень участия крестьянских (фермерских) хозяйств в формировании районного и внутриобластного рынков продовольствия и сельскохозяйственного сырья.

На втором этапе решаются задачи по размещению и специализации фермерского производства в поселениях района, где выявляется структура товарной продукции, оптимальная для каждого административно-территориального образования, определяется внутрирайонная специализация и концентрация сельскохозяйственного производства, и проводится группировка административных поселений по уровню товарного фермерского производства, обеспечивающего внутренние потребности и участие в районном и внутриобластном продуктообмене.

На третьем этапе обосновывается размещение и специализация сельскохозяйственного производства на уровне отдельных крестьянских (фермерских) хозяйств и определяется выбор производственных типов хозяйств, внутрипроизводственной специализации, сочетания отраслей, размеров производства.



X_n и Q_n - переменные и ограничения по координирующей задаче соответствующего уровня;
 Z - соответствующая целевая специализация, т.е. критерий оптимизации

Рисунок 1 – Общая схема модели оптимизации размещения крестьянских (фермерских) хозяйств района

Объединение отдельных уровней оптимизации воедино будет способствовать формированию общей модели оптимального размещения крестьянских (фермерских) хозяйств на районном уровне. В зависимости от того, какую экономическую единицу будет представлять блок модели (хозяйство, район, зона, регион), в общую модель могут быть внесены и другие ограничения и переменные.

Основным достоинством предлагаемой модели выступает то, что ее использование позволит выбрать среди множества альтернативных вариантов наиболее оптимальный, который позволит учесть интересы многочисленных экономических субъектов и будет способствовать эффективному использованию имеющегося потенциала района, укреплению его финансового положения за счет дополнительного поступления налоговых платежей в местный бюджет.

ЛИТЕРАТУРА

1 Барсукова, М.Н. Об оптимизационных моделях сельскохозяйственного производства: классификация и применение [Текст] / М.Н. Барсукова, А.Ю. Белякова, Я.М. Иванько // Материалы

XI международной конференции «Информационные и математические технологии в научных исследованиях», Иркутск. – 2006. – Ч. 1. – С. 49-57.

2 Воронин, Б. А. Крестьянское (фермерское) хозяйство в России: правовое положение, перспективы [Текст] / Б. А. Воронин // Аграрный вестник Урала. - 2009. - № 7. - С. 99-102.

REFERENCES

1 Barsukova, M.N. On optimization models of agricultural production: classification and application [Text] / M.N. Barsukova, A.U. Belyakova, Y.M. Ivanyo // Proceedings of the XI international conference "Mathematical and informational technologies in scientific research", Irkutsk. – 2006. – Part 1. - P. 49-57.

2 Voronin, B.A. Peasant (farmer) in Russia: the legal status and prospects [Text] / B.A. Voronin // Agricultural Journal of the Urals. – 2009. - №7. - P. 99-102.

УДК 65.011.4:631.15

Аспирант С.Е. Матющенко

(ГНУ НИИЭОАПК ЦЧР РФ Россельхозакадемии) тел. (473) 222-99-40

Оценка эффективности бизнес-процессов сельскохозяйственной организации

В статье обобщены методические подходы к оценке эффективности бизнес-процессов предприятий. Для сельскохозяйственных организаций обоснована система показателей оценки результативности бизнес-процессов в рамках четырех проекций: производство, система управления, финансы, персонал. Предложенная автором методика оценки позволяет определить проблемные бизнес-процессы, нуждающиеся в совершенствовании.

The paper summarizes the methodological approaches to the assessment of the efficiency of the business processes of enterprises. A system of indicators is justified to measure the effectiveness of business processes for agricultural organisations within the four domains: production, management system, finance, personnel. The proposed assessment methodology allows to define the problematic business processes that need to be improved.

Ключевые слова: бизнес-процесс сельскохозяйственной организации, экономическая эффективность, результативность, методика оценки, система показателей.

Анализ процессов и влияние их результативности на эффективность функционирования предприятия в целом является основой для формирования стратегии развития предприятия. Усиление конкуренции, высокие темпы роста и повышение требований к организации управленческого процесса призывают руководителей предприятий пересматривать методы оценки эффективности деятельности.

Несомненно, формирование эффективных систем управления сельскохозяйственными организациями является сложной задачей, что обусловлено значительным отставанием организаций данной отрасли в применении на практике инновационных технологий управления. Одной из причин этого является, прежде всего, низкая квалификация управленческих кадров, а также преобладание оперативного управления и сосредоточение управленческих решений в сфере производства и сбыта продукции.

Вместе с тем, одним из основных инструментов формирования эффективной системы управления на предприятии является процессный подход, сущность которого заключается в выделении в практике управленческой и производственной деятельности отдельных процессов с последующим управлением ими. Для определения таких процессов принято использовать экономическую категорию «бизнес-процесс».

На наш взгляд, бизнес-процесс в сельскохозяйственной организации представляет собой последовательные технологически

взаимосвязанные действия, которые, используя на входе ресурсы, обусловленные спецификой отрасли (иммобильность земельных ресурсов, использование в качестве средств производства живых организмов), на выходе создают продукцию, играющую стратегическую роль в жизнеобеспечении общества и представляющую ценность для потребителей.

Важно отметить, что результативность всей деятельности организации будет зависеть от результата бизнес-процесса. Результат бизнес-процесса представляет собой степень достижения целевых значений и стратегических инициатив, которые задаются экзогенно и определяются требованиями последующих процессов, находящихся в одной технологической цепочке. [3]

Важным параметром любого бизнес-процесса будет также и его эффективность, поэтому основная задача управления в сельскохозяйственной организации состоит в постоянном улучшении показателей каждого бизнес-процесса для повышения эффективности функционирования предприятия в целом.

Достижение высоких результатов бизнес-процессов – это один из инструментов повышения конкурентоспособности предприятия за счет роста качества производственных, управленческих и других процессов, а также производимой продукции. Обобщение экономической литературы в области процессного управления позволило сделать вывод о том, что в настоящее время универсальной методики оценки результативности бизнес-процессов не существует, однако возможно использова-

ние общих принципов оценки систем управления бизнесом. Определение результатов и оценка эффективности бизнес-процессов по имеющимся методикам с трудом применимы на сельскохозяйственных предприятиях, поскольку не учитывают специфику отрасли.

В настоящее время разработано несколько различных методик для оценки эффективности бизнес-процессов. К наиболее известным можно отнести управление на основе EVA (EVA-based management), сбалансированную систему показателей BSC (Balanced Scorecard), методологию Tableau of bord, методы стоимостного анализа процессов (ABC - activity-based costing) и динамические методы имитационного моделирования.

Главная категория методики EVA - экономическая добавленная стоимость (Economic value added). Она определяется как разность между чистой прибылью организации после уплаты налогов и стоимостью капитала организации. Стоимость капитала определяется на основе ставки доходности капитала. Таким образом, показатель EVA отражает способность предприятия получить дополнительный доход от своей деятельности по сравнению с ситуацией, при которой предприятие было бы продано, а полученный капитал передан в другие проекты под некоторую ставку доходности. [2]

Несмотря на финансовое содержание EVA, с его помощью можно сопоставлять отдельные участки бизнеса и выявлять нерентабельные подразделения за счет построения дерева образования добавленной стоимости, контроля целей и определения ответственных за результаты.

Согласно этой методике, во всех бизнес-процессах можно выделить две составляющие - ту, которая добавляет ценности продукту, и ту, которая не увеличивает его потребительскую ценность. Данный критерий увеличения составляющей добавления ценности бизнес-процесса зачастую используют как основу для совершенствования бизнес-процессов. В целом, анализ добавленной стоимости процесса должен определить соотношение рыночной стоимости и фактически понесенных затрат на производство продукта, т.е. добавленная стоимость определяется как разность между стоимостью продукта после обработки и стоимостью до обработки.

Для оценки бизнес-процессов, добавляющих экономическую ценность (затраты), на отдельном бизнес-процессе эту добавленную ценность можно выразить в виде удельного показателя.

Данная методика применима лишь для оценки основных бизнес-процессов, а также процессов развития предприятия. Довольно сложно применить данный подход для оценки результативности обеспечивающих бизнес-процессов сельскохозяйственной организации, в которые входят процессы, не участвующие напрямую в образовании добавленной стоимости, в частности, это кормопроизводство, ветеринарное обслуживание, ремонт и ТО техники и т.п.

Методология Tableau of bord - одна из самых старых комплексных методологий управления предприятием и его эффективностью. Комплексность данной методики определяется использованием, наряду с финансовыми, нефинансовых показателей. В основе данного подхода лежит построение иерархического дерева показателей через их декомпозицию. На нижних его уровнях используются нефинансовые показатели, которые по мере приближения к вершине преобразуются в финансовые. Все показатели делятся, помимо финансовой принадлежности, на целевые (или стратегические) и функциональные. Еще одно важное условие построения дерева показателей - это использование на верхних уровнях дерева в основном целевых показателей, на нижнем и среднем уровнях - функциональных показателей, отражающих результат конкретных действий. Важный параметр функциональных показателей - это их измеримость в количественном выражении.

Несмотря на ряд преимуществ, таких как возможность проводить оценку управленческого процесса на каждом уровне и объединять стратегические цели предприятия с его операционными результатами, строить более разнообразные и гибкие системы показателей эффективности, данная методология имеет существенный недостаток - затруднение в создании определенного равновесия в системе показателей.

Вместе с тем, методологию Tableau of bord достаточно просто применить в практике управления сельскохозяйственной организацией. Для придания системе определенного равновесия можно дополнить данную методику инструментами качественного анализа, в частности, на основе экспертных оценок сбалансировать систему показателей, чтобы не допустить перекоса в ту или иную сферу.

Указанный выше недостаток был устранен в другой известной и более широко применяемой методике - BSC (Balanced Scorecard - сбалансированная система показателей), созданной Нортон и Капланом. Данная система представляет собой иерархию

ческую систему как финансовых, так и нефинансовых показателей, которая позволяет объединить стратегические цели предприятия и показатели ее деятельности.

Принципиальным новационным отличием BSC от предшественниц стало разделение деятельности предприятия по четырем направлениям или проекциям: финансовой, клиентской (как предприятие выглядит со стороны клиентов), внутренних процессов (эффективность ключевых процессов) и персонала (его культура, обучение и развитие). Кроме того, важным принципом построения системы было то, что три нефинансовые группы показателей ставились на одну ступень с финансовыми, и ни один из показателей не признавался более значимым. Именно в этом и основная сущностная характеристика данной системы, определяющая ее как "сбалансированную". При этом основной упор делается на количественную оценку всех, в том числе и нефинансовых, показателей.

Вторым новшеством стали разработанные инструменты формализации причинно-следственных связей между показателями эффективности и стратегическими целями предприятия при помощи стратегических карт, целей, показателей производственно-экономической деятельности, стратегических инициатив. Кроме того, были введены показатели, применяемые после некоторого этапа деятельности компании как контрольные точки, что позволяло провести прогнозные расчеты результатов деятельности организации в будущем.

Применение данной методики в сельскохозяйственной организации в первоначальном виде весьма затруднено в первую очередь из-за сложности проведения расчетов по таким направлениям, как клиентская эффективность и оценка персонала. Так как сельскохозяйственные предприятия в основном производят сырье, то отношения с потребителями – перерабатывающими предприятиями носят зачастую долгосрочный характер. Смена канала реализации продукции происходит довольно редко, поэтому клиентская оценка будет основана на анализе малого количества потребителей и, соответственно, ее результаты не могут выявить нерентабельные и нерезультативные бизнес-процессы.

Оценка персонала ограничивается показателем производительности и трудоемкости труда. Для оценки персонала с позиции качества выполнения работ в основном применяют методы наблюдения (хронометраж, фотография рабочего дня) и субъективные оценки руководителей процессов.

Еще одной популярной методикой оценки эффективности системы бизнес-процессов является метод стоимостного анализа процессов (ABC - activity-based costing). Данная методика предполагает калькуляцию и планирование затрат по объекту на основе определения и сложения затрат на деятельность, осуществляемую этим объектом [1]

Данная методика имеет значительный недостаток, заключающийся в том, что процесс чаще всего осуществляется несколькими различными подразделениями, поэтому довольно сложно получить достоверную информацию о затраченных ресурсах и полученной прибыли.

Обобщение различных методик позволяет в качестве современного инструмента для решения задачи оценки эффективности бизнес-процессов предложить методический подход, объединяющий два метода: ABC-анализ (Activity Based Costing) и Balanced Scorecard. Применительно к сельскохозяйственной организации BSC-система сбалансированных показателей должна основываться на выделении и классификации показателей в рамках четырех проекций: производство, персонал, финансы, система управления, представляющих собой измеримый формат достижения целей бизнес-процессов и определения целевых значений, являющихся количественным выражением уровня, которому должен соответствовать тот или иной показатель.

Перед проведением оценки эффективности бизнес-процессов следует выделить бизнес-процессы с использованием критерия декомпозиции бизнес-процессов, которым должен являться критерий – отрасль/продукт. Применение данного критерия обусловлено тем, что для сельскохозяйственных организаций характерно преобладание бизнес-процессов производственного характера.

Цель оценки эффективности бизнес-процессов заключается в определении бизнес-процессов, имеющих большое значение для получения прибыли, а также выявление неэффективных процессов, наиболее нуждающихся в совершенствовании.

Задачи оценки:

- выделение проблемных бизнес-процессов;
- определение наиболее доходных бизнес-процессов;
- выбор мероприятий по совершенствованию бизнес-процессов;
- контроль уровня издержек и снижение косвенных расходов;
- выявление узких мест в деятельности предприятия;

- повышение производительности труда работников управления;
- контроль достижения стратегических целей.

Принципы оценки:

- минимальность – необходимо небольшое число показателей;
- полезность для прогнозирования – использование нефинансовых показателей для определения эффективности, а финансовых – в качестве лаговых;
- комплексность – показатели должны охватывать все бизнес-процессы;
- стабильность - смена показателей должна осуществляться постепенно.

Прежде чем переходить к оценке эффективности и результативности бизнес-процессов, необходимо построить функционально-информационные модели бизнес-процессов, которые будут включать следующие параметры:

- производительность труда и трудоемкость бизнес-процесса;
- функционально-стоимостной анализ эффективности бизнес-процесса;
- оценка себестоимости производства продукции;
- мониторинг выполнения процессов [3].

Выбор и определение системы методов оценки зависит во многом от возможностей и компетенции управленческих работников самой организации.

При разработке методической базы оценки эффективности бизнес-процессов необходимо использовать комплексный подход, суть которого применительно к проблеме выделения и анализа бизнеса состоит в комплексном представлении производственной деятельности, определении, структуризации и выделении приоритетных целей и задач системы бизнес-процессов.

Для того чтобы получить в процессе оценки результат, адекватный реальности, следует иметь в виду, что при оценке эффективности осуществления бизнес-процессов следует учитывать и качество работы исполнителя, а также владельца бизнес-процесса.

В связи с этим, следует определить такой показатель эффективности, на основе которого можно сравнить характеристики бизнес-процесса с наилучшими «эталонным» показателями. Обычно выбираются показатели экономического (издержки, прибыль и т.д.) или технологического (производительность, энергоемкость, материалоемкость и т.д.) содержания.

Важно при формировании системы показателей учесть возможность ее применения для расчета эффективности мероприятий по

совершенствованию бизнес-процессов. Поэтому в данную систему следует включать такие показатели, как прибыльность, эффективность, стоимость процесса, производительность.

Показатель рентабельности (прибыльности) характеризует результативность бизнес-процесса с позиции выгодности для данного предприятия путем сопоставления доходов и издержек.

Показатель производительности определяет величину выхода продукции (услуг) данного бизнес-процесса при определенных затратах ресурсов в результате протекания одного бизнес-процесса в единицу времени.

При расчете результативности бизнес-процессов в сельскохозяйственных организациях необходимо учитывать влияние различных внешних и внутренних факторов, которые определяют прогноз развития бизнес-процессов в будущем.

К внутренним факторам можно отнести следующие факторы: квалификация персонала, а именно управленческих работников; концентрация и специализация производства; внедрение инноваций (новой техники, технологии и т.д.); мобильность и оперативность производственной структуры в принятии решений; система учета и контроля затрат и т.д.

К внешним факторам, влияющим на результативность бизнес-процессов в сельскохозяйственной организации, относятся: направления и объемы господдержки сельского хозяйства; технико-технологическое обеспечение; развитие НТП; система налогообложения и кредитования; доступ к рынкам ресурсов; развитие процессов кооперации и интеграции и пр.

В целом, алгоритм проведения оценки эффективности бизнес-процессов предприятия включает представленные ниже этапы.

Первый этап должен включать комплексный качественный и количественный анализ деятельности сельскохозяйственной организации.

Второй этап заключается в выделении бизнес-процессов управления, развития и декомпозиции основных бизнес-процессов сельскохозяйственной организации на основе критерия отрасль-продукт.

Третий этап представляет собой формирование системы показателей по каждому виду бизнес-процесса на основе экспертных оценок и факторного анализа.

Формирование системы показателей должно осуществляться в рамках четырех проекций: производство, финансы, персонал и система управления (рисунок 1)

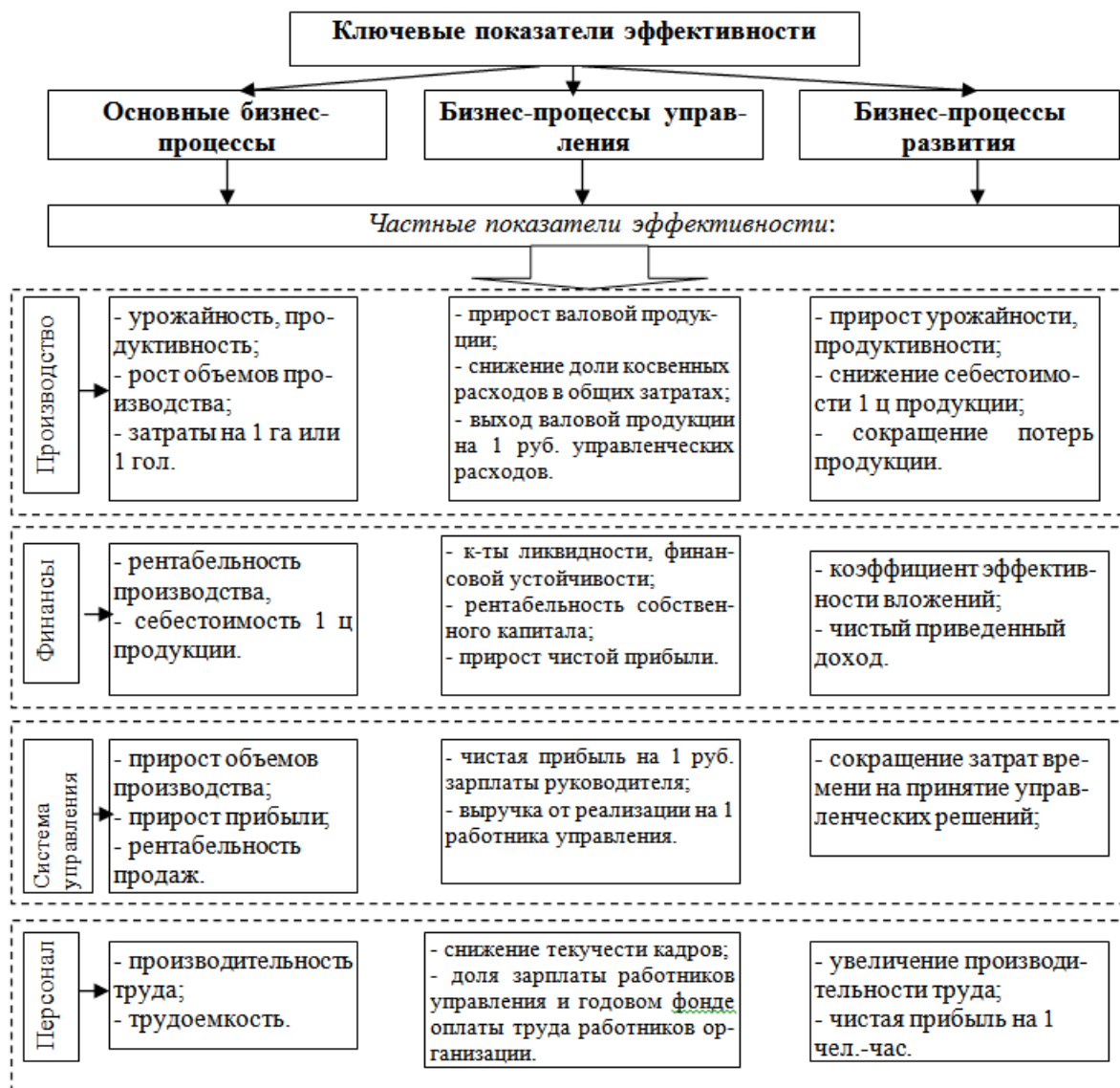


Рисунок 1 - Система показателей эффективности бизнес-процессов

На четвертом этапе проводится системная диагностика бизнес-процессов предприятия, которая позволяет установить качественные и количественные характеристики, определяющие степень эффективности управления функциями и процессами предприятия.

Пятый этап заключается в выявлении наиболее проблемных бизнес-процессов, нуждающихся в дальнейшем совершенствовании.

На основе проведенной диагностики проводится формализация проблемы и выявление причин неэффективного управления функциями и процессами предприятия, а также факторов, обуславливающих появление этих причин.

Предложенная система ключевых показателей эффективности идентифицирует бизнес-процессы, подлежащие усовершенствованию

и развитию с целью укрепления конкурентных преимуществ.

Результаты проведенной комплексной оценки бизнес-процессов будут являться базой для моделирования бизнес-процессов и определения мероприятий по их совершенствованию.

ЛИТЕРАТУРА

1 Репин, В. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов [Текст] / В. Репин, В. Елиферов. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2012. – 544 с.

2 Усков, А.Е. . Эффективность бизнес-процессов в электросетевой компании [Электронный ресурс] / А.Е. Усков, Б.И. Шевченко. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/>

effektivnost-biznes- protsessov-v-elektrosetevoy-kompanii. - Загл. с экрана.

3 Сосунова, Л.А. Оценка результативности и эффективности бизнес-процессов инновационного предприятия [Текст] / Л.А. Сосунова, Е.А. Серпер // Вопросы экономики и права. - 2011. - №3.

REFERENCES

1 Repin, V. Process approach to management. Business process modeling [Text] / V. Repin, V. Eliferov. – M.: Mann, Ivanov & Ferber, 2012. – 544 p.

2 Uskov, A.E. Efficiency of business processes in the grid company. [Electronic resource] / A.E. Uskov, B.I. Shevchenko. – Access mode: <http://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-biznes-protsessov-v-elektrosetevoy-kompanii>. - Title screen.

3 Sosunova, L.A. Evaluation of the effectiveness and efficiency of business-processes of innovation enterprise [Text] / L.A. Sosunova, E.A. Serper // Economy and law. - 2011. - № 3.

Доцент М.А. Карпович

(Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т) кафедра экономики и основ предпринимательства,
тел. 271-54-00

Методы количественного описания социальных последствий реализации проектов транспортной инфраструктуры

В статье рассмотрены методы количественной оценки позитивных и негативных последствий для населения строительства автомобильной дороги на прилегающей к населенному пункту территории. Население делится на группы с учетом географического, возрастного и гендерного распределения. Стоимостные параметры входят в целевую функцию в виде соотношения цена/отдача, а социальные, экологические факторы и риски – в виде безразмерных множителей и слагаемых.

The article deals with methods for quantifying the positive and negative consequences for the population of the construction of the road adjacent to the locality area. The population is divided into groups depending on the geographical, age and gender distribution. Cost parameters includes an objective function in the form of cost/efficiency. Social, environmental factors and risks - in the form of dimensionless factors and terms.

Ключевые слова: государственно-частное партнерство, оптимизация, функция социального влияния.

Реализация проектов транспортной инфраструктуры на принципах государственно-частного партнерства требует перемещения ресурсов из частного сектора в государственный [1]. Для определения целесообразности такого перемещения необходимо сравнить предельную общественную выгоду с дополнительными (предельными) общественными издержками, которые связаны с производством каждой дополнительной единицы общественного товара. Реализация проекта является оправданной лишь при положительной разности выгод и издержек, а оптимизация методов выполнения проекта требует максимизации указанной разности. Поскольку как выгоды, так и издержки имеют весьма разнообразную форму (социально-экономическую, экологическую, медицинскую и др.) необходимо определение целевой функции (ЦФ) задачи, позволяющей учесть как положительные, так и отрицательные факторы строительства объекта транспортной инфраструктуры.

Поскольку параметры ЦФ имеют различную природу, их размерность также неодинакова. В то же время, постановка задачи оптимизации, в том числе и многокритериальной, требует формирования ЦФ, все слагаемые которой имеют одинаковую размерность. Эта задача в экономике решается различными

способами. В частности, возможно приведение всех параметров к всеобщему эквиваленту – деньгам. Однако при решении данной задачи получение денежного выражения для рисков, социальных и экологических результатов и потерь весьма сложно и представляет собой самостоятельную задачу, не имеющую однозначного решения [2]. Адекватным рассматриваемой задаче является альтернативный путь введения безразмерных характеристик объектов. При этом подходе стоимостные параметры входят в ЦФ в виде функции от соотношения цена/отдача, а социальные, экологические факторы и риски – в виде безразмерных множителей и (или) слагаемых. Именно такой подход и реализован в данной работе.

В частности, социальные последствия реализации проектов транспортной инфраструктуры приводят к увеличению подвижности населения, проживающего и/или работающего в зоне влияния данного объекта и, как следствие, увеличению доступности медицинских, образовательных, социальных, торговых и других услуг. С другой стороны, происходит также увеличение количества и улучшение качества доступных рабочих мест. В простейшем варианте количественное описание этих последствий может быть выполнено на основе данных о средней плотности населения в зоне влияния объекта дорожного хозяйства путем введения безразмерного социального коэффициента $K_{соц}$:

$$K_{соц} = \frac{\rho_{об}}{\rho_{рег}} \frac{N_{мед}^П}{N_{мед}^Д} \frac{N_{обр}^П}{N_{обр}^Д} \frac{N_{торг}^П}{N_{торг}^Д} \frac{N_{спорт}^П}{N_{спорт}^Д} \frac{N_{раб}^П}{N_{раб}^Д} \frac{3^П}{3^Д}, \quad (1)$$

где $\rho_{об}, \rho_{рег}$ – средняя плотность населения в зоне влияния объекта транспортной инфраструктуры и региона строительства соответственно; $N_{мед}^Д, N_{мед}^П$ – количество доступных населению медицинских учреждения до и после строительства объекта соответственно; индексы обр, торг, спорт, раб аналогичным образом описывают образовательные, торговые, спортивные объекты и количество рабочих мест соответственно; величины $3^Д, 3^П$ описывают среднюю зарплату на рабочих местах, доступных до и после введения объекта дорожного хозяйства.

Более точное описание социальных последствий строительства требует знания не только средней плотности населения, но и ее географического, возрастного и гендерного распределения. Связано это с тем, что различные группы населения имеют, во-первых, различные потребности. Так, например, потребность в медицинских учреждениях в нетрудоспособных возрастах значительно выше, чем в для жителей в работоспособном возрасте; потребность в образовательных и спортивных учреждениях максимальна в младших возрастных группах; роль размеров оплаты труда выше для мужской части населения. Кроме того, и зона влияния автодороги для лиц трудоспособного возраста больше, чем в нетрудоспособном. Учет этих особенностей различных групп населения, требующий значительных объемов статистической информации и использования более сложных алгоритмов целесообразен лишь при реализации масштабных проектов. При этом, поскольку затраты осуществляются, а прибыль получается за значительный промежуток времени необходимо их дисконтирование [3].

Количественно полезность участка автодороги можно оценить, используя следующие параметры: ЦС – отношение дисконтированной стоимости строительства участка к прогнозируемой суммарной стоимости перевезенных грузов и арендных платежей за использование полосы отвода за вычетом дисконтированной выгоды, получаемой за счет использования отводимого участка в год окончания строительства:

$$Ц_C = \frac{Ц \cdot \prod_{i=1}^N (1 + \alpha_i)}{\sum_{i=1}^N C_i - B \cdot \prod_{i=1}^N (1 + \alpha_i)}, \quad (2)$$

где Ц – стоимость строительства участка на момент сдачи дороги в эксплуатацию, N – глущина прогноза (при этом величина N не может превышать нормативного срока эксплуатации участка), индекс i нумерует год эксплуатации, α – прогнозируемый уровень инфляции, С – прогнозируемая годовая стоимость перевезенных грузов. Для платных автодорог вместо стоимости перевезенных грузов естественно учитывать прогнозируемую годовую плату за проезд П, собираемую на данном участке. В этом случае формула (2) модифицируется следующим образом:

$$Ц_C = \frac{Ц \cdot \prod_{i=1}^N (1 + \alpha_i)}{\sum_{i=1}^N П_i - B \cdot \prod_{i=1}^N (1 + \alpha_i)} \quad (3)$$

Наличие транспортных коммуникаций и придорожной инфраструктуры положительно сказываются на занятости и доходах населения, тяготеющего к рассматриваемому участку. Однако этим социальный эффект автодороги не исчерпывается. Автодорога повышает общую мобильность населения и доступность для него рабочих мест, в том числе и не связанных непосредственно с дорожной инфраструктурой. Также повышаются доступность медицинских, образовательных услуг и возможности развития личности. Вследствие этого дорожная структура является одной из составных частей общественного договора. Формула (1) не учитывает численность и плотность населения, мобильность которого повышается, вследствие чего не в полной мере описывают социальные характеристики участков автодорог. Все это требует отдельного учета в ЦФ социальных характеристик участков автодорог.

Очевидно, что социальные эффекты сказываются тем сильнее, чем ближе населенные пункты расположены к дороге. Они максимальны для населения, находящегося в зоне пешеходной доступности от участка дороги (по медицинским критериям – для населения в трудоспособном возрасте не более 3 км, для детей до 14 лет и лиц пенсионного возраста – не более 1 км). Вне зоны пешеходной доступности социальные эффекты затухают с ростом расстояния. Для расстояний, превышающих n кратное значение (например, n=5), социальным влиянием участка автодороги можно пренебречь. Простейшая функция социального влияния участка автодороги (ФСВ), удовлетворяющая указанным критериям, имеет вид:

$$\begin{aligned}
 f(x) &= 1, & x \leq x_0 \\
 f(x) &= \frac{n}{n-1} - \frac{x}{x_0(n-1)}, & x_0 \leq x \leq nx_0 \\
 f(x) &= 0, & x \geq nx_0
 \end{aligned} \quad (4)$$

График зависимости функции социального влияния от расстояния x приведен на рисунке 1.

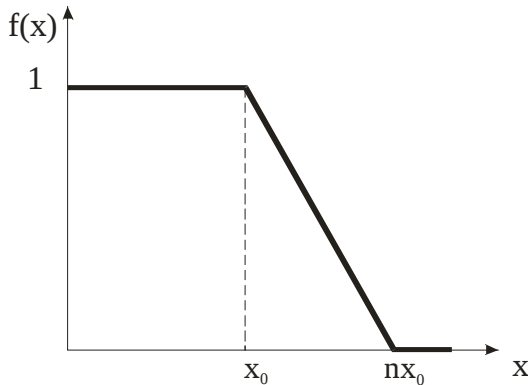


Рисунок 1 - Функция социального влияния участка автодороги

Наглядно степень социального влияния автодороги, соответствующая функции (4), изображена на рисунке 2. Степень черноты градиентной заливки пропорциональна значениям функции $f(x)$.

Параметр x_0 совпадает с расстоянием пешеходной доступности лишь для населенных пунктов, не имеющих внутреннего общественного транспорта. При наличии обще-

ственного транспорта расстояние x_0 определяется временем t_0 , необходимым для достижения участка автодороги. Для $t_0 > 2$ ч. социальным влиянием участка для большинства населения можно пренебречь. Лишь небольшая часть населения, в основном активно использующая личный транспорт, повысит свою мобильность. При наличии общественного транспорта внутри населенных пунктов, находящихся в сфере влияния участка автодороги ФСВ можно описывать функцией вида

$$\begin{aligned}
 f(x) &= 1, & x \leq x_0 \\
 f(x) &= 2^{-a(x-x_0)} & x_0 \leq x
 \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь параметр a обратно пропорционален средней скорости движения общественного транспорта с учетом времени его ожидания. С ростом средней скорости параметр a падает и область социального влияния автодороги растет. Так, например, при средней скорости $V=10$ км/ч, параметр a можно положить равным $a=0,15$ км⁻¹. Тогда за 2 ч будет преодолеваться расстояние $x_2=40$ км и, пренебрегая малым x_0 по сравнению с x_2 , получим:

$$f(x_2) = 2^{-0.15 \cdot 40} = 2^{-6} = \frac{1}{64}.$$

Таким образом, в этом случае менее 2 % населения окажется в зоне влияния, превышающей x_2 .

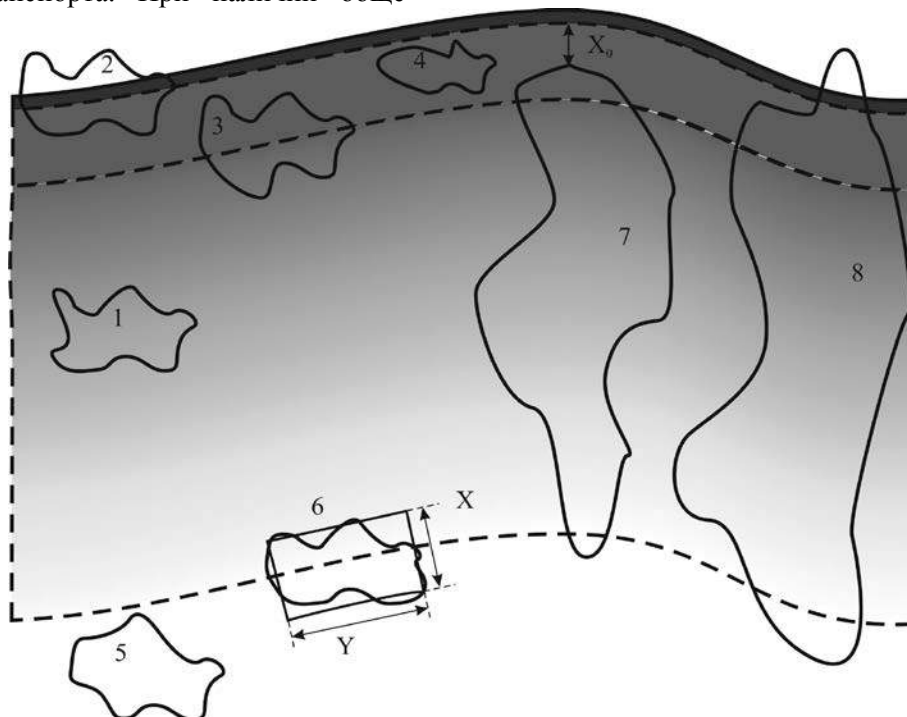


Рисунок 2 - Графическое представление степени социального влияния автодороги от расстояния x

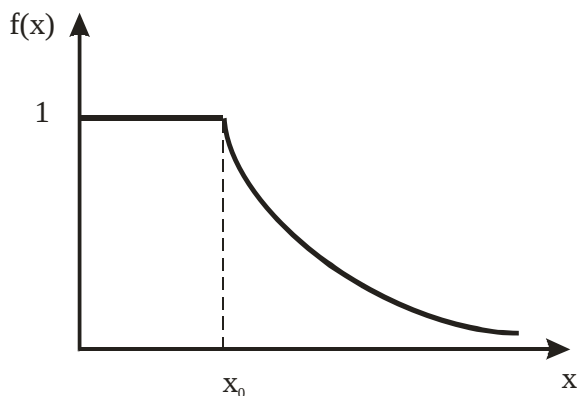


Рисунок 3 - Функция социального влияния участка автодороги при наличии маршрутов общественного транспорта

Функции (3) и (4) описывают социальное влияние автодороги на часть населения, не использующую личный транспорт. Для части населения, активно использующей личный транспорт, зона повышения мобильности значительно выше, чем зона пешеходной доступности и ФСВ медленнее спадает с ростом расстояния. При этом скорость уменьшения ФСВ обратна средней скорости личного транспорта на участке, соединяющем населенный пункт и автодорогу. Для этой части населения функция социального влияния является монотонной и, в простейшем случае, может быть представлена в виде:

$$f_1(x) = 2^{-bx} \quad (6)$$

График функции (6) представлен на рисунке (4). Полная ФСВ является суммой функций $f(x)$ вида (3) или (4) и функций $f_1(x)$ с весами, равными долям населения, не пользующегося и активно использующего личный транспорт соответственно:

$$f_{\text{полн}}(x) = d \cdot f(x) + (1-d) \cdot f_1(x), \quad (7)$$

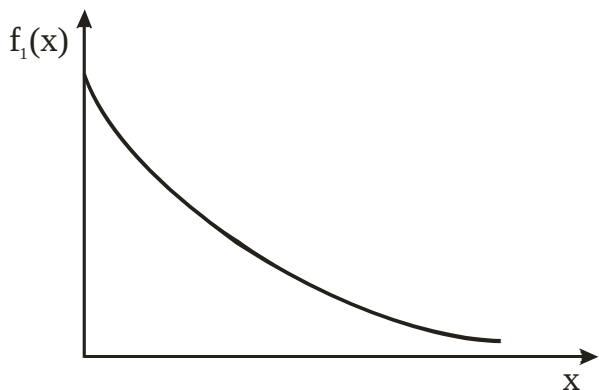


Рисунок 4 - Функция социального влияния участка автодороги для населения, активно использующего личный транспорт

Кроме ФСВ, общая численность населения, повышающего мобильность (ЧН), а, следовательно, и целевая функция зависят также и от распределения плотности населения $\rho_p(x, y)$ в зоне влияния участка автодороги для расстояний $x \leq n \cdot x_0$. Здесь y – параллельная, x – перпендикулярная к оси дороги координата. В частности, для прямолинейных участков автодороги x и y совпадают с декартовыми координатами. В общем случае ЧН определяется интегрированием произведения ФСВ и плотности $\rho_p(x, y)$ по площади населенного пункта:

$$CH = \iint_S f(x) \cdot \rho(x, y) dx dy, \quad (8)$$

Последовательный расчет ЧН по формуле (8) требует детальных демографических и топографических данных. На этапе обоснования инвестиций в большинстве случаев можно ограничиться усредненной моделью распределения населения. В этой модели вне пределов населенного пункта плотность населения считается равной нулю, а внутри поселения – постоянной. Топографически населенный пункт моделируется обобщенным прямоугольником с линейными размерами X и Y , минимальное расстояние от которого до автодороги равно X_0 (рисунок 2). В этом приближении интегрирование по продольной и поперечной координате в формуле (8) выполняются независимо:

$$\begin{aligned} CH &= \rho_0 \int_{X_0}^{X_0+X} f_{\text{полн}}(x) dx \int_0^Y dy = \\ &= \rho_0 Y \int_{X_0}^{X_0+X} f_{\text{полн}}(x) dx \end{aligned} \quad (9)$$

здесь ρ_0 – средняя плотность населения в границах населенного пункта.

Ответ выражается через элементарную функцию, конкретный вид которой определяется соотношением между параметрами X , X_0 , x_0 и видом ФСВ. Рассмотрим вначале населенные пункты, не имеющие маршрутов общественного транспорта, и население, не использующее личный транспорт.

Если все поселение находится в зоне пешеходной доступности участка автодороги (населенный пункт 4 на рисунке 2), что математически сводится к справедливости неравенств $X_0 \leq x_0$, $X_0 + X \leq x_0$, значение подынтегральной функции равно единице на всем интервале интегрирования и, следовательно:

$$ЧН = \rho_0 Y \int_{x_0}^{x_0+X} f(x) dx = \rho_0 Y \int_{x_0}^{x_0+X} dx = \rho_0 Y X = \rho_0 S = N, \quad (10)$$

здесь S – площадь населенного пункта, N – общая численность населения.

В тривиальном случае для поселения, целиком лежащего за пределами зоны влияния дороги (населенный пункт 5) на всем множестве интегрирования значение функции $f(x)$ равно нулю, вследствие чего нулевое значение принимает и функция ЧН. Если весь населен-

ный пункт находится в зоне влияния автодороги ($X_0 + X \leq n \cdot x_0$), и часть поселения находится в зоне пешеходной доступности ($X_0 \leq x_0$) (населенный пункт 3), значение подынтегральной функции отлично от нуля на всем интервале интегрирования, и выражение (7) приобретает вид:

$$\begin{aligned} ЧН &= \rho_0 Y \left[\int_{x_0}^{x_0} dx + \frac{1}{n-1} \int_{x_0}^{x_0+X} \left(n - \frac{x}{x_0} \right) dx \right] = \\ &= \rho_0 Y \left[x_0 - X_0 + \frac{n(X_0 + X - x_0)}{n-1} - \frac{(X_0 + X)^2 - x_0^2}{2x_0(n-1)} \right]. \end{aligned} \quad (11)$$

Если весь населенный пункт находится в зоне влияния автодороги ($X_0 + X \leq n \cdot x_0$) и отсутствует часть поселения, находящаяся в зоне пешеходной доступности ($X_0 \geq x_0$)

(населенный пункт 1), значения подынтегральной функции положительны и отличны от единицы на всем интервале интегрирования:

$$\begin{aligned} ЧН &= \frac{\rho_0 Y}{n-1} \int_{x_0}^{x_0+X} \left(n - \frac{x}{x_0} \right) dx = \frac{\rho_0 Y}{n-1} \left[n(X_0 + X - x_0) - \frac{(X_0 + X)^2 - x_0^2}{2} \right] = \\ &= \frac{\rho_0 Y (X_0 + X - x_0)(2n - X_0 - X - x_0)}{2(n-1)}. \end{aligned} \quad (12)$$

Если лишь часть населенного пункта находится в зоне влияния автодороги ($X_0 + X \geq n \cdot x_0$), и отсутствует часть поселения, находящаяся в зоне пешеходной доступности ($X_0 \geq x_0$) (населенный пункт 6), верхний

предел интегрирования в выражении (8) определяется максимальным расстоянием влияния автодороги, а нижний – минимальным расстоянием от автодороги до поселения:

$$\begin{aligned} ЧН &= \frac{\rho_0 Y}{n-1} \int_{x_0}^{nx_0} \left(n - \frac{x}{x_0} \right) dx = \frac{\rho_0 Y}{n-1} \left[n(nx_0 - x_0) - \frac{(nx_0)^2 - x_0^2}{2} \right] = \\ &= \rho_0 Y \left(nx_0 - x_0^2 \frac{n+1}{2} \right) = \frac{\rho_0 Y x_0}{2} [2n - x_0(n+1)] \end{aligned} \quad (13)$$

И, наконец, если лишь часть населенного пункт находится в зоне влияния автодороги ($X_0 + X \geq n \cdot x_0$), и имеется часть поселения, находящаяся в зоне пешеходной доступ-

ности ($X_0 \leq x_0$) (населенные пункты 7 и 8), выражение для ЧН содержит слагаемые, отражающие вклад как зоны пешеходной доступности, так и остальной зоны влияния:

$$ЧН = \rho_0 Y \left[\int_{x_0}^{x_0} dx + \frac{1}{n-1} \int_{x_0}^{nx_0} \left(n - \frac{x}{x_0} \right) dx \right] = \rho_0 Y \left[x_0 - X_0 + \frac{n^2 x_0}{n-1} - \frac{1}{2} x_0(n+1) \right]. \quad (14)$$

Поскольку значение параметра x_0 для различных групп населения является различным, эффективное значение ЧН определяется суммированием частных его значений для населения в трудоспособном и нетрудоспособном возрасте с весами, определяемыми долями населения каждого из возрастов в данной местности:

$$ЧН_{\Sigma} = TP \cdot ЧН(x_0^{TP}) + (1 - TP) \cdot ЧН(x_0^{HTP}), \quad (15)$$

где TP – доля трудоспособного населения, x_0^{TP} , x_0^{HTP} – расстояния пешеходной доступности для лиц трудоспособного и нетрудоспособного возраста соответственно.

Рассмотрим теперь населенные пункты, имеющие маршруты общественного транспор-

та. В этом случае расчет упрощается, так как параметр x_0 одинаков для всех групп населения, нет необходимости проводить суммирование (15) и формула (14) непосредственно дает окончательный ответ. Кроме того, поскольку функция (5), в отличие от (3), имеет

$$CH_{внутр} = \rho_0 Y \int_{x_0}^{x_0} dx = \rho_0 Y (x_0 - x_0) = \rho_0 S_{внутр} = N_{внутр} \quad (16)$$

и

$$CH_{вне} = \rho_0 Y \int_{x_0}^{x_0} 2^{-ax} dx = \rho_0 Y \frac{2^{ax_0} \cdot (2^{-ax_0} - 2^{-ax_0})}{a \ln(2)}, \quad (17)$$

здесь введено обозначение $N_{внутр}$ – численность населения данного пункта, проживающего в зоне $x \leq x_0$, и использован табличный интеграл:

$$\int 2^{-ax} dx = -\frac{2^{-ax}}{a \ln(2)} \quad (18)$$

Так, например, для населенного пункта 4 на рисунке 2, целиком расположенного в зоне $x \leq x_0$, расчет численности повышающего мобильность населения сводится к применению формулы (13); для населенных пунктов 1, 5, 6, целиком расположенных в зоне $x > x_0$, вычис-

$$CH = \rho_0 Y \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} 2^{-bx} dx = \rho_0 Y \frac{2^{bx_{\max}} - 2^{bx_{\min}}}{b \ln(2)} = \frac{\rho_0 Y (2^{bx_{\max}} - 2^{bx_{\min}})}{b \ln(2)}, \quad (19)$$

здесь $x_{\min}$, $x_{\max}$ – просто минимальное и максимальное расстояние от дороги до границ населенного пункта, отсчитываемое вдоль внутренних дорог и улиц.

Для участков автодорог, проходящих через населенные пункты и делящих их на части (населенные пункты 2 и 8 на рисунке 2), общую формулу (8) и ее частные случаи необходимо применять для каждой из частей независимо и результаты суммировать. При некоторых топографических схемах расположения участков автодорог (например, для окружных дорог в окрестности небольших населенных пунктов) могут возникнуть зоны перекрытия различных значений функции влияния ФСВ. Реально перекрытие означает доступность для населения различных участков дороги. Наиболее естественным поведением в этом случае будет использование участка с максимальной доступностью. Математически этот факт отражается учетом лишь максимального значения функции ФСВ и отбрасывания минимального значения ФСВ. Общий метод, основанный на применении формулы (8), позволяет без труда определить значение ЧН и в этих случаях.

лишь две функционально отличающиеся области, реальный расчет численности повышающего мобильность населения сводится к разбиению населенного пункта, находящегося внутри и вне зоны x_0 , и применению к каждой из областей следующих формул:

ление ЧН проводится по формуле (14); лишь для поселений 3, 7, 8 необходимо разбиение на части ($x \leq x_0$ и $x > x_0$ соответственно) и применению к каждой из них формул (12) и (15).

Проще всего расчет ЧН выполняется для части населения, активно использующего личный транспорт, что определяется простотой выражения (6). В этом случае нет необходимости учитывать ни возрастную структуру населения, ни топографическое расположение населенного пункта. ЧН в любом случае определяется выражением:

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Гутман, Г.В. Общественные блага в транзитивной экономике [Текст] / Г.В. Гутман, О.Б. Дигшина, О.П. Звягинцева. - М.: ООО «Маркет ДС Корпорейшн», 2004. - 120 с.
- 2 Институциональная экономика: новая институциональная экономическая теория [Текст]: учебник / под ред. А. А. Аузана. - М.: ИНФРА-М, 2005. - 317 с.
- 3 Аткинсон, Э.Б. Лекции по экономической теории государственного сектора [Текст]: учебник / Э.Б. Аткинсон, Дж.Э. Стиглиц. - М.: Аспект Пресс, 1995. - 832 с.

REFERENCES

- 1 Gutman, G.V. Public goods in transitive economy [Text] / G.V. Gutman, O.B. Digshina, O.P. Zvyagintseva. - M.: LLC "Market DS Corporation", 2004. - 120 p.
- 2 Institutional Economics: A new institutional economics [Text]: textbook / ed. by A.A. Auzan. - M.: INFRA-M, 2005. - 317 p.
- 3 Atkinson, E.B. Lectures on the economic theory of public sector [Text]: textbook / E.B. Atkinson, J.E. Stiglitz. - M.: Aspect Press, 1995. - 832 p.

УДК 338.001.36

Доцент С.А. Сторублевцев,

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра машин и аппаратов пищевых производств,
тел. (473) 255-38-96

доцент С.В. Лавров,

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра промышленной энергетики,
тел. (473) 255-44-66

доцент О.Ю. Коломыцева, доцент Ю.Н. Дуванова

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра экономической безопасности и финансового мониторинга

Технико-экономическая оценка производства функциональных ингредиентов и функциональных продуктов питания

В статье выполнена технико-экономическая оценка производства функциональных продуктов питания, а также произведена оценка рыночного потенциала полученных продуктов.

Techno-economic assessment of the production of functional foods is made in the article. Assessment of the market potential of the products is represented.

Ключевые слова: функциональный продукт, технико-экономическая оценка.

В настоящее время отрасль продуктов функционального питания переживает подъём. Они пользуются все большей популярностью во всем мире, не является исключением и Россия. Несмотря на это, уровень производства функциональных продуктов по отношению к общему объёму производства пищевой промышленности в России достаточно низкий (рисунок 1), что обуславливает перспективность работы на данном рынке.

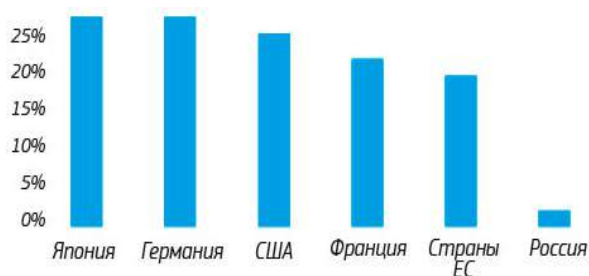


Рисунок 1 – Уровень производства функциональных продуктов в мире по отношению к общему производству пищевой продукции

В настоящее время, по оценке экспертов Euromonitor International, около 30% мировых продовольственных компаний инвестируют в здоровые продукты. Это является отражением мирового потребительского тренда – население повсеместно стремится к укреплению здоровья и предупреждению болезней с помощью корректировки рациона питания.

Наиболее перспективными рынками здоровых продуктов и напитков Euromonitor считает быстрорастущие экономики таких стран, как (в порядке убывания) Россия, США, Мексика, Венесуэла, Аргентина, Индонезия, Великобритания, Индия, Канада, Германия, Австралия, Колумбия, Южная Корея, Франция, Италия и Саудовская Аравия.

По данным исследования Euromonitor International, глобальный рынок продуктов для здоровья, в том числе функциональных, достигнет 1 трлн. долл. (770 млрд. евро) к 2017 году. Активно растет сегмент здоровых продуктов в странах БРИК. Так, в 2011 году сегмент здоровой пищи в Китае оценивался в 8,5 млрд. евро, в Бразилии – 3 млрд. евро.

Таким образом, здоровье остается основной движущей силой маркетинговых стратегий продвижения продуктов питания и напитков во многих регионах мира.

Сегодня Россия представляет собой еще ненасыщенный рынок функциональных продуктов питания. Компании, занимающиеся их производством на территории страны, являются филиалами или представительствами иностранных фирм.

По мнению экспертов, производство таких продуктов в России по итогам 2011 года составляет около 242 миллионов рублей в стоимостном выражении и 1 732 тысяч кг в натуральном, а по итогам 2012 года наблюдается рост производства до отметки 257 миллионов рублей.

Функциональные продукты питания на сегодня являются самым быстрорастущим сегментом мировой пищевой отрасли. Темпы роста индустрии здорового питания превосхо-

дят темпы развития основной пищевой промышленности. В таблице 1 представлено потребление функциональных продуктов питания в России.

Т а б л и ц а 1

Потребление функциональных продуктов питания в России (2013-2014 гг прогноз)

Показатель	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Потребление кг/чел	0,042	0,043	0,045	0,047	0,050	0,053	0,053	0,055	0,056
Темп роста в % к предыдущему году	100	103,04	104,96	103,72	106,77	104,77	101,63	103,27	102,00
Темп роста в % к базовому году	100	103,04	108,15	113,17	119,76	125,47	127,51	131,69	134,32

Повышающийся спрос на продукты для здоровья способствует значительному росту потребности в функциональных ингредиентах, к которым относятся добавки Промил С95, обогащенная йодом, и Промил С95, обогащенная СО₂-экстрактом ореха мускатного.

Для обогащения комплексной пищевой добавки Промил С95 необходима установка, включающая конденсатор, экстрактор, испаритель, баллон с СО₂, насос, дополнительный модуль для получения полифункциональной пищевой добавки, манометры и краны. Стоимость собранной установки составляет 70 тыс.р.

Проведем упрощенный технико-экономический расчет применения данной установки на предприятиях по производству мясных полуфабрикатов.

Технологическая схема производства полуфабрикатов мясных, в отличие от традиционной, будет включать добавление функционального ингредиента при составлении фарша. Себестоимость полуфабрикатов мясных, произведенных по традиционной и модифицированной технологиям, представлена в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

Себестоимость полуфабрикатов мясных

Компоненты фарша	Массовая доля компонента в рецептуре, %		Стоимость компонентов на 1 кг готового фарша, руб.	
	традиционная рецептура	модифицированная рецептура	традиционная рецептура	модифицированная рецептура
Говядина	20	10	32	16
Свинина	50	46	60	55,2
Йодированный белок Промил С95	-	14	0	28
Мука пшеничная	5	5	1	1
Яйца куриные	2	2	0,4	0,4
Молоко	8	8	3,2	3,2
Лук репчатый свежий очищенный	8	8	0,8	0,8
Соль поваренная	1,5	1,5	0,075	0,075
Панировка	4,5	4,5	0,315	0,315
Фосфаты	0,2	0,2	0,06	0,06
Итого	-	-	97,85	105,05

Следует отметить, что функциональные продукты в основном относятся к верхнему ценовому сегменту. Более высокая цена будет обусловлена не только увеличением себестоимости за счет роста дополнительных полезных свойств. Продвижение функциональных продуктов невозможно без грамотной информационной поддержки, ведь полезные свойства должны быть понятны потребителю, а работа в этом направлении повышает затраты произво-

дителя. Они ориентированы на потребителей, которые ищут дополнительную пользу в продукте и готовы за это платить больше.

Основная проблема при выводе такой новинки на рынок – заставить потребителя понять, почему продукт так дорого стоит и поверить, что это «работает».

Рассмотрим покупку дополнительного оборудования на среднее действующее предприятие, производящее 5 т мясных полуфаб-

рикатов в год. Величина необходимых инвестиций на приобретение установки (70 тыс.р) будет покрыта за счет привлечения банковского кредита на срок 3 года под 25 % годовых.

Период планирования 5 лет. Цена полуфабриката планируется с 10 % уровнем рентабельности и составляет 182,5 р за кг. Результаты расчетов представлены в таблицах 3,4.

Т а б л и ц а 3

Издержки на производство и реализацию продукции, тыс.р.

Издержки	Годы расчетного периода					Итого
	1	2	3	4	5	
1. Прямые издержки на материалы	525,25	525,25	525,25	525,25	525,25	2626,25
2. Прямые издержки на персонал	220	220	220	220	220	1100
3. Накладные расходы (производственные)	40	40	40	40	40	200
4. Затраты на производство	785,25	785,25	785,25	785,25	785,25	3926,25
5. Управленческие расходы	12	12	12	12	12	60
6. Коммерческие расходы	14	14	14	14	14	70
7. Функционально-административные издержки	811,25	811,25	811,25	811,25	811,25	4056,25
8. Амортизационные отчисления	18,48	18,48	18,48	18,48	18,48	92,4
9. Общие издержки на производство и реализацию продукции	829,73	829,73	829,73	829,73	829,73	4148,65

Т а б л и ц а 4

Отчет о чистых доходах, тыс.р.

Издержки	Годы расчетного периода					Итого
	1	2	3	4	5	
1. Доход от продаж	912,00	912,00	912,00	912,00	912,00	4560,00
2. Общие издержки на производство и реализацию продукции	829,73	829,73	829,73	829,73	829,73	4148,65
3. Прибыль к налогообложению	82,27	82,27	82,27	82,27	82,27	411,35
4. Налоги	16,45	16,45	16,45	16,45	16,45	82,27
5. Чистая прибыль	65,82	65,82	65,82	65,82	65,82	329,08
6. Нераспределенная прибыль нарастающим итогом	65,82	131,63	197,45	263,26	329,08	-

Проведем расчет показателей инвестиционной привлекательности или эффективности инвестиционного проекта.

Рассчитаем чистую текущую стоимость (чистый приведенный доход, чистый дисконтированный доход) - NPV. Определяют дисконтированием (при постоянной ставке процента и отдельно для каждого года) разницы между годовыми оттоками и притоками денег по проекту, накапливаемыми в течение жизни проекта. Эта разница дисконтируется к момен-

ту времени, когда предполагается начало осуществления проекта:

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^T \frac{C_0}{(1+r)^t}, \quad (1)$$

где CF_t – денежный поток в году, T – экономический срок жизни инвестиций, C_0 – первоначальные инвестиции.

Исходные данные для расчета представлены в таблице 5.

Т а б л и ц а 5

Дисконтированные денежные потоки, тыс.р.

Категория инвестиций	Годы расчетного периода						Итого
	0	1	2	3	4	5	
1. Чистый денежный поток (NCF)	-70,00	41,80	48,05	59,30	84,30	84,30	280,64
2. Кумулятивный NCF	-70,00	-28,20	19,84	79,14	163,43	247,73	528,37
3. Коэффициент дисконтирования	1,0000	0,8044	0,6470	0,5204	0,4186	0,3367	
4. Текущая стоимость (PV)	-70,00	33,62	31,09	30,86	35,29	28,39	89,24
5. Текущая стоимость нарастающим итогом (NPV)	-70,00	-36,38	-5,29	25,57	60,86	89,24	

$NPV = 89,24$ тыс.р.

$NPV > 0$, следовательно данный проект целесообразен, его следует принять.

Рассчитаем индекс рентабельности инвестиции PI , показывающий соотношение отдачи капитала и вложенного капитала:

$$PI = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} \div \sum_{t=0}^T \frac{C_0}{(1+r)^t} \quad (2)$$

Для анализируемого проекта:

$$PI = \frac{33,62 + 31,09 + 30,86 + 35,29 + 28,39}{70} = 2,27$$

Для эффективности проектов должно быть выполнено условие $PI > 1$. Для данного проекта это условие выполняется, следовательно, проект выгоден.

На рисунке 2 представлен график текущей стоимости на основе планируемого ряда лет.

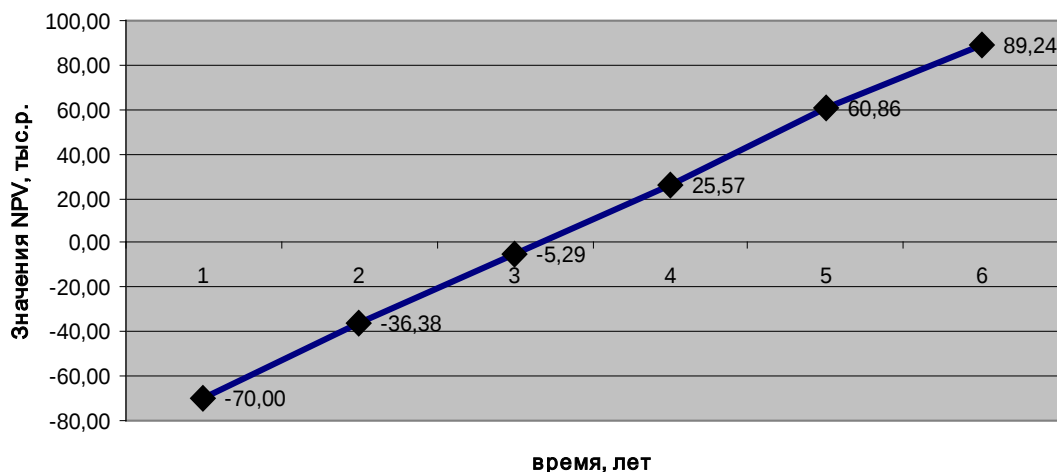


Рисунок 2 - График текущей стоимости на основе планируемого ряда лет

Рассчитанные показатели эффективности инвестиционного проекта свидетельствуют о целесообразности принятия данного проекта. Срок окупаемости составляет 2,5 года.

Таким образом, покупка дополнительного оборудования для получения функциональных ингредиентов выгодна предприятию. Несмотря на увеличение себестоимости продукта, предприятие получает новый конкурентоспособный продукт.

Отметим еще раз, что функциональные продукты (как мясные полуфабрикаты, так и рыбные пресервы) ориентированы преимущественно на потребителей со средним и достаточно высоким доходом, у которых сформулирована потребность в дополнительных свойствах: удобстве использования, вкусе и пользе для здоровья. Для производителя одной из основных задач является отражение в концепции упаковки продукта его возможностей и преимуществ использования покупателем. Для привлечения внимания широкой аудитории к новинке обязательно нужно выделить функциональный продукт на полке и провести ряд промомероприятий. Например, организовать дегустации в торговых залах или участвовать в расширенных выкладках продукта со снижением цены. Если на рынок выводится массовый продукт, то его стоит продвигать с помощью телерекламы и, например, вирусного маркетинга.

Таким образом, функциональные продукты могут обеспечить предприятию рост производства и повышение конкурентоспособности. Так как придание функциональности выпускаемому продукту помогает выделить его на полке среди изделий конкурентов, продукты, приносящие пользу здоровью, быстрее становятся «модными». В целом, по прогнозам экспертов, в ближайшие три-четыре года этот сегмент будет активно расти и важно успеть занять свое место на данном рынке. Однако для того чтобы стать лидером в этой нише, производителю потребуется очень многое - качественное сырье, современное дорогостоящее оборудование, удобная и продуманная упаковка.

Произведем оценку рыночного потенциала функциональных продуктов. Рыночный потенциал предприятия – это способность и возможность предприятия управлять совокупностью ресурсов на определенных этапах его развития в целях эффективного взаимодействия с рынком. Рыночный потенциал предприятия определяется платежеспособным спросом на выпускаемую продукцию, долей рынка, которую занимает предприятие, взаимоотношениями с поставщиками ресурсов и покупателями товаров. Понятие «рыночный потенциал» отождествляется с понятием «конкурентоспособность», поэтому для оценки рыночного потенциала разработанных функциональных ингредиент-

тов и функциональных продуктов целесообразно определить уровень их конкурентоспособности с аналогичными товарами на рынке.

Конкурентоспособность как термин означает способность объекта хозяйственной деятельности в определенный период обеспечить коммерческий или иной успех на конкретном рынке в условиях конкуренции и противодействия.

Исходя из этого, конкурентоспособные функциональные продукты – это изделия, пользующиеся спросом у большого количества потребителей, обладающие не менее высоким уровнем качества, чем известные аналоги, но отличающиеся от последних дополнительными функциональными свойствами.

В высокоразвитых странах уже среди составляющих конкурентоспособности цена не доминирует. Главную роль играет качество, но на лидирующие позиции выходит функциональность и уникальность продукции. В России пока еще конкурентоспособность связана как с качеством, так и с ценой.

Для предприятий пищевой и перерабатывающей промышленности конкурентоспособность зависит от конкурентного преимущества и конкурентного потенциала. Стратегические факторы конкурентного преимущества предприятия опираются на потенциал предприятия и отличаются тем, что непосредственно влияют на позицию предприятия на рынке, так как напрямую воспринимаются потребителем.

Факторов, влияющих на конкурентоспособность продукции, достаточно много. Действие их часто разнонаправлено, однако следует учитывать, что у разработанных функциональных продуктов нет аналогов, следовательно для определения уровня их конкурентоспособности следует воспользоваться методом параметрического анализа. Для оценки уровня конкурентоспособности полуфабрикатов мясных рубленых, обогащенных йодированным белком PROMILC95, за образец возьмем продукт без добавок (таблица 6).

Т а б л и ц а 6

Конкурентоспособность полуфабрикатов мясных рубленых, обогащенных йодированным белком PROMILC95 (экспериментального образца)

Параметры, единицы измерения	Кэф- фициент весомости	Значения параметров		Параметрический индекс
		Экспери- ментальный образец	Товар- образец	
Физико-химические свойства: - содержание йода, мкг/100 г.	$\lambda_{\text{фх}}$ 1,0	63,5	-	1,00
Сводный индекс по физико-химическим показателям		-	-	$I_{\text{фх}} = \sum \lambda_{\text{ф}} * \text{ФХС} = 1,0 * 1,00 = 1,00$
Функционально-технологические свойства:	$\lambda_{\text{фт}}$			
- влагосвязывающая способность, %	0,2	64,7	51,5	1,25
- влаговыделяющая способность, %	0,1	8,8	19,4	0,45
- влагоудерживающая способность, %	0,2	53,2	40,5	1,31
- жируудерживающая способность, %	0,2	55,3	52,3	1,06
- эмульгирующая способность, %	0,15	62,1	46,8	1,33
- стабильность эмульсии, %	0,15	58,2	52,1	1,12
Сводный индекс по функционально-технологическим свойствам	1,0	-	-	$I_{\text{фт}} = \sum \lambda_{\text{фт}} * \text{ФТС} = 0,2 * 1,25 + 0,1 * 0,45 + 0,2 * 1,31 + 0,2 * 1,06 + 0,15 * 1,33 + 0,15 * 1,12 = 1,14$
Реологические свойства:	$\lambda_{\text{р}}$			
- липкость, кг/см ²	0,5	54,6	45,7	1,19
- динамическая вязкость, Па*с	0,5	268,0	151,0	1,77
Сводный индекс по реологическим свойствам	1,0	-	-	$I_{\text{р}} = \sum \lambda_{\text{р}} * \text{РС} = 0,5 * 1,19 + 0,5 * 1,77 = 1,48$
Аминокислотный состав:	$\lambda_{\text{а}}$			
- КРАС, г/100 г	0,3	11,65	19,44	0,60
- БЦ, г/100 г	0,4	88,35	71,56	1,23
- СКОР _{min} .	0,3	61,14	53,71	1,14
Сводный индекс по аминокислотному составу	1,0	-	-	$I_{\text{а}} = \sum \lambda_{\text{а}} * \text{АС} = 0,3 * 0,60 + 0,4 * 1,23 + 0,3 * 1,14 = 1,015$
Интегральный показатель относительной конкурентоспособности	-	-	-	$K = I_{\text{фх}} * I_{\text{фт}} * I_{\text{р}} * I_{\text{а}} = 1,00 * 1,14 * 1,48 * 1,015 = 1,714$

Таким образом, анализируемое экспериментальное изделие полуфабрикат мясной рубленый, обогащенный йодированным белком PROMILC95, по свойствам превосходит необогащенный образец.

Учитывая, что параметрический анализ использует коэффициенты весомости, определяемые экспертным методом, далее проведем анализ оценок экспертов на противоречивость (таблица 7).

Т а б л и ц а 7

Анализ противоречий мнений экспертов

Критерии	$\max A_i - B_i $
Содержание йода, мкг/100 г.	0
Влагосвязывающая способность, %	1
Влаговыделяющая способность, %	2
Влагоудерживающая способность, %	3
Жироудерживающая способность, %	2
Эмульгирующая способность, %	2
Стабильность эмульсии, %	1
Липкость, кг/см ²	2
Динамическая вязкость, Па*с	3
КРАС, г/100 г	2
БЦ, г/100 г	1
СКОР _{min} .	1
$\frac{\sum_{i=1}^n A_i - B_i }{n}$	$\frac{20}{12} = 1,6$
Примечание A_i, B_i – оценки каждой i – ой пары экспертов	

Данные таблицы 7 свидетельствуют о приемлемой согласованности экспертов и возможности использования в расчетах данных таблицы, так как выполняются правила оценки непротиворечивости мнений экспертов.

Правило 1:

$$\max |A_i - B_i| \leq 5, \quad (3)$$

Правило 2:

$$\frac{\sum_{i=1}^n |A_i - B_i|}{n} \leq 2,5. \quad (4)$$

Существующие методы оценки конкурентоспособности предусматривают сравнение показателей качества объекта исследования и эталона с последующим учетом динамики качества по шкале отношений. Евдокимовой О.В. предложена модель конкурентного потенциала функциональных пищевых продуктов, которая учитывает как известные элементы формулы, так и новые, позволяющие с большей точностью предвидеть конкурентоспособность создаваемого товара как для промышленности, так и для торговли. Данная модель отличается от известной системы показателей качества промышленной продукции формированием групп показателей с учетом особенностей продукта. Разработанная модель конкурентного потенциала включает пять групп показателей: показатели функци-

ональной эффективности, социального назначения, надежности, патентно-правовых, эргономических, имеющих с учетом коэффициента значимости иерархическую схему и четыре уровня качества (отличный, хороший, удовлетворительный и неудовлетворительный). Предложенная модель конкурентного потенциала позволяет оценить конкурентоспособность функционального пищевого продукта тремя методами:

- методом полной оценки конкурентного потенциала с учетом единичных показателей, полученных по шкале отношений, имеющей наиболее ценные метрологические свойства. Вычисление значений групповых показателей конкурентоспособности проводят, как расчет средних арифметических взвешенных:

$$\bar{Q} = \sum_{j=1}^m Q_{omij} \cdot q_{ij}, \quad (5)$$

где $\bar{Q}$ – групповой показатель (среднее арифметическое взвешенное); q_{ij} – нормированный весовой коэффициент для j -того показателя; m – количество единичных показателей в данной группе.

Вычисление значения конкурентного потенциала, как среднего геометрического взвешенного:

$$\overline{Q} = \prod_{i=1}^n \overline{Q}_i^{q_i}, \quad (6)$$

где $\overline{Q}$ - конкурентный потенциал; $\overline{Q}_i$ - групповой показатель конкурентоспособности для i -той группы; q_i - нормированный весовой коэффициент для i -той группы; n - количество групп показателей конкурентоспособности;

- методом ранжирования конкурентоспособности с учетом единичных показателей по шкале порядка (уровни качества в баллах) определяется суммированием баллов по групповым показателям. Вычисление значения конкурентного потенциала объекта и эталона проводится как расчет среднего геометрического взвешенного:

$$\overline{Q}_o = \prod_{i=1}^n \overline{Q}_{oi}^{q_i}, \quad (7)$$

$$\overline{Q}_3 = \prod_{i=1}^n \overline{Q}_{3i}^{q_i}, \quad (8)$$

где $\overline{Q}_o$ и $\overline{Q}_3$ - соответственно конкурентный потенциал объектов и эталона; q_i - нормированный весовой коэффициент для i -той группы; n - количество групп показателей конкурентоспособности;

- методом интегральной оценки, который предполагает учет только экономических показателей конкурентоспособности. Вычисление значения интегрального показателя конкурентоспособности проводится как расчет среднего арифметического взвешенного.

Апробация методологии полной оценки конкурентного потенциала проведена на примере разработанных функциональных продуктов: полуфабрикатов мясных рубленых, обогащенных йодированным белком PROMILC95, и пресервов рыбных, обогащенных CO₂-экстрактом ореха мускатного. В качестве контроля брали необогащенные продукты.

На первом этапе разрабатывали шкалу уровней качества для пяти групповых показателей.

Оценка показателей функциональной эффективности нормы для уровней качества по физиологически функциональным ингредиентам распределялась по степени удовлетворения потребности в них при потреблении 100 г продукта. За основу брали физиологические нормы потребления отдельных ингредиентов: 1 уровень - содержание в продукте 38-50 % от нормы; 2 уровень - содержание в продукте 24-37 % от нормы; 3 уровень - содержание в продукте 15-23 % от нормы; 4 уровень - содержание в продукте менее 15% от нормы. Диапазон функциональности для 1 уровня - очень высокий (5 баллов), 2 - высокий (4 балла), 3 - средний (3 балла), 4 - ниже среднего (2 балла).

При оценке показателя социального назначения уровни распределяли таким образом, что при положительном ответе от 84 до 100 % респондентов, продукты относили к 1 уровню качества, при 83-68 % - к 2 уровню, 67-50 % - к 3 уровню, при отрицании продукта более чем половиной опрошенных - уровень качества 4 - неудовлетворительный.

Показатели надежности определяли наличием или отсутствием результатов клинических испытаний, заключений органов здравоохранения, санитарно-эпидемиологических заключений.

Оценка эргономических показателей качества предусматривала использование пятибалльной органолептической шкалы оценки, в которой баллы распределялись по 4 уровням.

Приведенная методика оценки уровня качества разработанных функциональных продуктов показала, что по групповому показателю «функциональная эффективность» высокие баллы (хорошо и отлично) имеют такие единичные показатели, как уровень функциональности, содержание пищевых волокон, Р - активных веществ, йода, а также групповые показатели социального назначения, патентно-правовые и эргономические. Результаты оценки конкурентного потенциала предложенными методами приведены в таблицах 8, 9.

Т а б л и ц а 8

Результаты оценки конкурентного потенциала полуфабрикатов мясных рубленых, обогащенных йодированным белком PROMILC95

Групповой показатель конкурентоспособности	Нормированный весовой коэффициент q_i	Значения показателей конкурентного потенциала $\overline{Q}_o$			
		Полная оценка		Ранжирование	
Функциональной эффективности	0,4	2,165	1,29	2,43	1,31
Социального назначения	0,1	1,048		1,175	
Надежности	0,2	1		1,245	
Патентно-правовые	0,15	1,231		1,273	
Эргономические показатели	0,15	1,005		1,273	

Результаты оценки конкурентного потенциала пресервов рыбных, обогащенных CO₂-экстрактом ореха мускатного

Групповой показатель конкурентоспособности	Нормированный весовой коэффициент q_i	Значения показателей конкурентного потенциала $\bar{Q}_o$			
		Полная оценка		Ранжирование	
Функциональной эффективности	0,4	2,224	1,324	2,252	1,492
Социального назначения	0,1	1,074		1,195	
Надежности	0,2	1		1,245	
Патентно-правовые	0,15	1,314		1,356	
Эргономические показатели	0,15	1,009		1,356	

Метод полной оценки конкурентного потенциала полуфабрикатов мясных рубленых, обогащенных йодированным белком PROMILC95, и пресервов рыбных, обогащенных CO₂-экстрактом ореха мускатного, показал, что разработанные функциональные продукты обладают большей конкурентоспособностью, чем контроль, выгодно отличаются показателем функциональной эффективности, значение показателя социального назначения выше значения контроля, патентно-правовой показатель также превосходит контроль.

Результат расчёта конкурентного потенциала методом ранжирования показал, что конкурентоспособность полуфабрикатов мясных рубленых, обогащенных йодированным белком PROMILC95, и пресервов рыбных, обогащенных CO₂-экстрактом ореха мускатного, выше конкурентоспособности полуфабрикатов мясных рубленых и пресервов рыбных без добавок (эталон), так как значения конкурентного потенциала составляют 1,31 и 1,492 соответственно.

Резюмируя вышеизложенное, следует отметить, что функциональные продукты питания с полезными свойствами, выработанные из натурального сырья, способны обеспечить предприятиям рост производства, повышение конкурентного статуса на основе обновления ассортимента для выхода на рынок мирового экономического пространства.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007—2013 годы» по государственному контракту № 14.512.11.0039 от 20.03.2013 г.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Савельева, Н.А. Бизнес-план предприятия. Теория и практика [Текст] / Н.А. Савельева, И. Ю. Бринк. – М.: Феникс, 2009. – 384 с.
- 2 Учитель, Ю.Г. SWOT-анализ и синтез - основа формирования стратегии организации [Текст] / Ю.Г. Учитель, М.Ю. Учитель. – М.: Либроком, 2010. – 328 с.
- 3 Гарнов, А.П. Экономика предприятия: современное бизнес-планирование [Текст]: учебное пособие / А.П. Гарнов, Е.А. Хлевная. – М.: Дело и сервис, 2011. – 284 с.
- 4 Дубровин, И. Бизнес-планирование на предприятии [Текст] / И. Дубровин. – М.: Дашков и К, 2012. – 432 с.
- 5 Евдокимова, О.В. Методология определения конкурентного потенциала функциональных пищевых продуктов [Текст] / О.В. Евдокимова // Пищевая промышленность. - 2009. - № 8. - С. 36-39.

REFERENCES

- 1 Savelyeva, N.A. Business-plan of the enterprise. Theory and practice [Text] / N.A. Savelyeva, I. U. Brink. – M.: Phoenix, 2009. - 384 p.
- 2 Uchitel, U.G. SWOT analysis and synthesis basis for the formation of the organization's strategy [Text] / U.G. Uchitel, M.U. Uchitel. – M.: Librokom, 2010. - 328 p.
- 3 Garnov, A.P. Business economics: a modern business planning [Text]: textbook / A.P. Garnov, E.A. Hlevnaya. - M: Delo & service, 2011. - 284 p.
- 4 Dubrovin, I. Business planning at the enterprise [Text] / I. Dubrovin. – M.: Dashkov & K, 2012. - 432 p.
- 5 Evdokimova, O.V. Methodology of determination the competitive potential of functional foods [Text] / O.V. Evdokimova // Food industry. - 2009. - № 8. - p. 36-39

Требования к оформлению материалов для журнала «Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий»

1. Материалы представляются в двух видах: на электронном носителе и распечатанные на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (1 экз.) на лазерном принтере. Они должны быть набраны в редакторе MS Word версия не ниже 6.0 (Office не выше 2007) и напечатаны через одинарный интервал в две колонки шрифтом:

- основной текст - Times New Roman Cyr 11 с полями: левое 22 мм, правое 18 мм, верхнее и нижнее 25 мм;
- колонтитулы от края - верхний и нижний 18 мм;
- заголовки по центру - Times New Roman Cyr 11, жирный;
- красная строка -1 см;
- перенос слов - автоматический.

Со смещением на 5 см от рамки текста в начале статьи набираются:

- УДК - Times New Roman Cyr 12;
- должность, степень И. О. Ф. авторов - Times New Roman Cyr 12;
- название статьи - Times New Roman Cyr 16, жирный, строчной (без переноса);
- аннотации - Times New Roman Cyr 9;
- ключевые слова – Times New Roman Cyr 9, до 10 слов;

2. Объем для статьи – 5-7 с. Структурно статья должна иметь четко выраженное *введение*, в котором ставится задача (описывается решаемая проблема), *основную часть*, где излагаются используемые авторами пути решения поставленной задачи, приводятся и обсуждаются результаты, и *заключение*, в сжатой форме подводящее итог работы. Повторение одних и тех же данных в статье, таблице и графике не допускается. Размерность всех характеристик приводится в системе СИ.

3. К каждой статье под заглавием дается аннотация (объем до 600 печатных знаков) на русском и английском языках через 1 строку друг от друга. Название статьи, фамилия и инициалы приводятся отдельно на английском языке.

4. Название статьи или краткого сообщения должно быть лаконичным и точно отражать содержание.

5. Иллюстрации в формате jpeg или gif:

- должны быть расположены после ссылки на них в тексте;
- должны выполняться на компьютере с обозначением всех необходимых букв и символов в соответствии с ЕСКД и Р 50-77-80. Все буквенные и цифровые обозначения, приведенные на рисунках, поясняются в основном или подрисуночном тексте. Подрисуночные подписи даются Times New Cyr 10, на формат рисунка.

Графические объекты (диаграммы, графики) должны быть активными (т.е. подлежать редактированию стандартными средствами, например, MS Excel).

6. Формулы и буквенные обозначения:

- буквы латинского алфавита, используемые в индексах, набирают курсивом;
- буквы русского и греческого алфавита - прямым шрифтом; знак вектора - полужирным;
- нумерация формул в тексте сквозная. Нумеруются только те формулы, на которые есть ссылки в тексте.

Формат формул (стандартный редактор) :

- стиль - "математический";
- размер символа — 11

Sizes (Размеры)	
Full (Обычный)	11 – 10
Subscript/Superscript (Крупный индекс)	7
Sub-subscript/Superscript (Мелкий индекс)	5
Symbol (Крупный символ)	12
Subsymbol (Мелкий символ)	9

7. Таблицы (слово печатается вразрядку) должны быть с заголовками и обязательно располагаться после ссылки на них в тексте. Графы в таблицах должны иметь краткие заголовки. Упоминаемые в заголовках величины сопровождаются соответствующими единицами измерений.

8. Литература (слово печатается: Times New Roman Сут 11, жирный, прописной) включает источники, использованные автором при написании статьи, и должна содержать не более 10 наименований. Ссылки в тексте даются в квадратных скобках: [1], помещаются в конце статьи и оформляются согласно ГОСТ 7.1-2003. В список не включается литература 10-летней давности. Литература приводится на русском и английском языках.

9. В журнале публикуется не более 2 статей одного автора. Количество авторов одной статьи не должно превышать 4 человек.

В журнале публикуются оригинальные научные статьи теоретического и экспериментального характера в области технических, естественных, экономических и химических наук. Автор указывает рубрику (в сопроводительном письме и выписке из заседания кафедры), в которой он хотел бы разместить свою статью:

- Процессы и аппараты пищевых производств;
- Информационные технологии, моделирование и управление;
- Пищевая биотехнология;
- Фундаментальная и прикладная химия, химическая технология;
- Биотехнология, бионанотехнология и технология сахаристых продуктов;
- Экономика и управление;

Журнал «Вестник ВГУИТ» выходит 4 раза в год: № 1 – март; № 2 – июнь; № 3 – сентябрь; № 4 – декабрь.

Статья должна быть тщательно проверена и подписана всеми авторами. На отдельном листе авторы указывают ФИО полностью, адрес, ученую степень, должность, место работы, контактный телефон, E-mail, а также отмечают с кем вести переписку.

К статье должны прилагаться сопроводительные документы:

- сопроводительное письмо;
- выписка из протокола заседания кафедры с рекомендацией статьи к печати;
- положительная рецензия ведущего ученого в данной области или члена редакционной коллегии серии, заверенная подписью и печатью.

Вопрос об опубликовании статьи, ее отклонении решает редакционная коллегия журнала и ее решение является окончательным. В случае возвращения статьи для исправления датой представления считается день получения исправленного текста. Срок доработки - не более 1 месяца.

Материалы, не соответствующие данным требованиям оформления, к публикации не принимаются. Рукописи авторам не возвращаются.

Плата с аспирантов и докторантов за публикацию рукописей не взимается.

List of requirements of drawing up materials in «Proceedings of the Voronezh state university of engineering technologies»

1 All the materials are represented in two ways: on a flash card. The materials should be printed on white sheets of paper on one side only by means of a laser printer. One must use MS-World (6,0 version) to set up a text and keep single line interval. The text must be divided into two columns.

- basic text– Times New Roman Cyr 11 with margins: left one – 22 mm, right one 18 mm, top and bottom 25 mm;
- running titles from tops – top and bottom 18 mm;
- central titles – Times New Roman Cyr 11, in bold type;
- indented line – 1 cm;
- division of words is automatical.
The points below are printed with 5 cm shift from the text frame:
- Universal Decimal Code – Times New Roman Cyr 12;
- post, author's name, middle name, surname – Times New Roman Cyr 12;
- article title – Times New Roman Cyr 16, in bold type, lower case (without division of words);
- annotation – Times New Roman Cyr 9;
- keywords - Times New Roman Cyr 9, to 10 words.

2 Article extent – under 5 – 7 pages. Any article must have a strict structure with a clearly seen introduction, where the problem is raised, body, where the solutions to the problem are presented and the results are discussed, and a conclusion, where the work results are summed up. Repetition of one and the same data are forbidden. The size of all characteristics are presented within CI system.

3 The annotations in English and Russian are given to each article (600 printed symbols). There must be an empty line between the annotations. The title of the article, author's last name and initials are given separately in English variant.

4 The title of the article or a short message must be laconic and show the contents of the article clearly.

5 All the illustrations are made in JPEG or BMP:

- they must be placed after the reference in the text;
- they must be done by means of a computer and be supplied with the letter and symbol marks according to universal system documents (USCP) and R 55-77-80. All The letters and figures presented on the illustration text, must be explained in the basic or in the under illustration text. The marks are given in Times New Cyr 10.

Graphical installations (diagrammes, schedules) should be active (i.e. to be subject to editing by standard means, for example, MS Excel).

6 Formulae and letter marks:

- latin letters, used in indexes, are printed in italic type;
- Russian and Greek letter – Roman type, vector mark in half bold type;
- formulae must be numbered through the text. Only formulae with references are numbered.

Formulae format:

- style – “mathematical”;
- symbol size – 11

Sizes	
Full	11 – 10
Subscript/Superscript	7
Sub-subscript/Superscript	5
Symbol	12
Subsymbol	9

7 Tables (the word itself should be spaced) must be supplied with titles and placed right after the references in the text. All the table columns must have short titles. Magnitudes, mentioned in titles must go along with measurement unit.

8 Literature (the word itself is printed in Times New Roman Cyr 11, in bold type capital) contains sources, author used for article composing. There must be no more than 10 designation. All the references in the text are made in square brackets and placed at the end of article according to the standard requirement 7.1-2003. Literature list mustn't contain unpublished works, textbooks, theses, as well as 10 year – old literature. Literature is given in English and Russian languages.

9 Not more than 2 articles of one author can be published in the journal. The number of authors should not exceed 4 persons.

Original scientific articles of theoretical and experimental character are published in the magazine in the field of technical, natural, economic, chemical. The author specifies a heading (in the covering letter and an extract from faculty meeting) in which he would like to place the article:

- Processes and devices of food productions;
- Information technologies, modeling and management;
- Food biotechnology;
- Fundamental and applied chemistry, chemical technology;
- Biotechnology, bionanotechnology and technology of sugary products;
- Economy and management;

The magazine «the Messenger ВГУИТ» leaves 4 times a year: № 1 – March; № 2 – June; № 3 – September; № 4 – December.

The article must be thoroughly checked and signed by all the authors. Name, middle name, last name, address, science degree, position, place of work, telephone number (office and home) E-mail, the person communicate to are pointed out on a separate sheet of paper.

Accompanying deeds should be applied on paper:

- The transmittal letter;
- An extract from the report of faculty meeting with paper recommendation for printing;
- The positive review of the leading scientist in the given area or a member of an editorial board of the series, authenticated by the signature and printing.

The question on paper publication, its deviation is solved by an editorial board of the log and the solution is definitive. In case of refund of paper for correction by representation date it is considered day of reception of the corrected text. Finishing term - no more than 1 month.

The materials mismatching given demands of registration, to the publication are not accepted. Manuscripts are not refunded to authors.

The pay for the publication of manuscripts is not raised from post-graduate students.