

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»



**ВЕСТНИК
ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

ВЕСТНИК ВГУИТ

2024, Том. 86, № 1

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ОСНОВАН В 1938 ГОДУ
ВЫХОДИТ 4 РАЗА В ГОД

**Воронеж
2024**

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education

«VORONEZH STATE UNIVERSITY
OF ENGINEERING TECHNOLOGIES»

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

Proceedings of VSUET

2024, Vol. 86, No. 1

SCIENTIFIC AND THEORETICAL JOURNAL

FOUNDED IN 1938
COMES 4 TIMES PER YEAR

**Voronezh
2024**

100-лет кафедре технологии бродильных и сахаристых производств

После Октябрьской революции в России началось строительство новых заводов, многие старые специалисты эмигрировали, потребовались грамотные инженеры-технологи, поэтому ректор Воронежского сельскохозяйственного института (ВСХИ) А.В. Думанский выступил с инициативой организации подготовки в Воронеже специалистов в области переработки сельскохозяйственного сырья, в том числе технологов бродильных производств. В первой половине 1923 года А.В. Думанский издал приказ о создании на агрономическом факультете ВСХИ технологического отделения. Отделение имело две кафедры - общей химии и технологии переработки сельскохозяйственного сырья.

В 1924 году из Томского технологического института приехал в Воронеж и возглавил кафедру технологии переработки сельскохозяйственного сырья ученик С.В. Лебедева будущий профессор Павел Михайлович Силин. Этот год считается годом рождения кафедры. В 1929 г. технологическое отделение агрофака СХИ было реорганизовано в технологический факультет, деканом был назначен проф. П.М. Силин. В 1930 г. на базе этого факультета Правительством страны был создан самостоятельный Воронежский институт пищевой промышленности, с 1932 г. вуз стал называться Воронежский химико-технологический институт пищевой промышленности.

Наиболее инициативной специальной кафедрой нового института стала кафедра технологии переработки сельскохозяйственных продуктов, поэтому при расширении профиля вуза на базе этой кафедры было создано несколько специальных кафедр: кафедра технологии сахаристых веществ, кафедра технологии бродильных производств и кафедра технологии жиров.

Нападение в 1941 году на нашу страну немецко-фашистских оккупантов нарушило созидательную работу ученых и преподавателей. Летом 1942 года коллектив института был эвакуирован на Восток страны в г. Бийск.

С освобождением Воронежа от немецких захватчиков в 1943 году институт перебазировался в районный центр Рамонь, не пострадавший во время войны. С 1943 года и до перевода ВХТИ в Ленинград (1947 г.) кафедрой технологии бродильных производств заведовал профессор С.Е. Харин. В 1944 г. заведующим кафедрой технологии сахаристых веществ ВХТИ был назначен доцент С.З. Иванов.

Летом 1945 года в ВХТИ было проведена юбилейная научная конференция, посвященная 15-летию института. С докладами выступили профессора П.М. Силин, С.Е. Харин, В.Н. Стабников, Г.М. Знаменский и др.

В ноябре 1945 года правительство приняло решение о переводе ВХТИ в Ленинград, так как Воронеж был почти полностью разрушен.

К концу 1947 г. завершена перебазировка ВХТИ на новое место и его переименование в Ленинградский технологический институт пищевой промышленности (ЛТИПП). В Ленинград переехали 360 студентов и 20 преподавателей. Кафедра технологии сахаристых веществ была реорганизована - на ее основе создана кафедра общей технологии пищевых производств. Кафедра брожения разделилась на две - технологии производства спирта (возглавлял профессор В.А. Смирнов) и технологии бродильных производств (возглавлял профессор А.М. Смирнов). В 1951 г. директором института был назначен доцент С.З. Иванов.

Большинство выпускников «ленинградского периода» стали руководителями предприятий бродильной и сахарной промышленности, управлений Министерства пищевой промышленности, учеными и преподавателями. Это профессора Г.А. Никитин, П.С. Цыганков из КТИППа, К.А. Калунянц, А.Р. Сапронов из МТИППа, А.И. Громковский, А.Ф. Федоров, Г.М. Тарарыков из ВТИ, член-корреспондент РАСХН, зам. директора ВНИИПБТ Б.А. Устинников и многие другие.

Однако в Ленинграде все сильнее ощущалась удаленность вуза от традиционной сырьевой базы и перерабатывающих профильных предприятий, что отрицательно влияло на качество подготовки инженерных кадров. 14 февраля 1959 г. было принято Постановление правительства СССР о переводе ЛТИПП в Воронеж.

С 1959 по 1963 гг. С.З. Иванов - ректор Воронежского технологического института (ВТИ). За этот период был расширен профиль института, укреплена материальная база, восстановлена кафедра технологии сахаристых веществ, которую С.З. Иванов возглавлял до 1979 года.

Кафедра технологии бродильных производств. Ее пришлось создавать в Воронеже заново. За эту нелегкую работу взялся ленинградский выпускник кафедры доцент Алексей Федорович Федоров. Были приглашены для работы на кафедре ее выпускники кандидаты наук - Николай Иванович Дерканосов (главный инженер Воронежского дрожжевого завода) и Геннадий Михайлович Тарарыков (начальник цеха Мичуринского спиртового завода), а также опытные производственники: Л.В. Иванова, Н.Г. Куршева, Т.Г. Жупикова, Н.В. Голикова, А.З. Образцова. Сотрудники кафедры вместе со студентами принимали прибывшее из Ленинграда оборудование, строили новый корпус института, вели учебный процесс, готовили и успешно защищали диссертации.

В 1962 году возрожденная кафедра технологии бродильных производств сделала первый выпуск студентов, среди которых была Екатерина Дмитриевна Кирилина (Фараджева), будущий профессор кафедры, заслуженный изобретатель РСФСР.

В шестидесятые годы кафедра пополнилась выпускниками воронежского периода.

В 1972 году защитили докторские диссертации А.Ф. Федоров и Н.И. Дерканосов.

В 1973 году заведующим кафедрой стал Николай Иванович Дерканосов. Открылась аспирантура у профессора Н.И. Дерканосова. Его аспиранты, в том числе будущие доценты кафедры Е.Л. Гарманова, А.З. Образцова, Н.А. Болотов, В.С. Черепнин, Л.К. Громковская и др., выполняли работы, связанные с производством хлебопекарных дрожжей, солода, концентрата квасного сусла, хлебного кваса.

Для открывшегося в 1972 году Кемеровского технологического института пищевой промышленности в аспирантуре кафедры были подготовлены четыре преподавателя (Маркина Н.С., Помозова В.А., Курышева О.А., Хатунцева Л.И.). Кафедру технологии бродильных производств в КемТИППе долгое время возглавляла выпускница воронежской кафедры профессор В.А. Помозова, сейчас она является профессором Уральского государственного экономического университета.

В 70-е годы кафедра пополнилась новыми преподавателями, имеющими производственный опыт. Увеличился набор студентов по специальности «Технология бродильных производств» до четырех групп очного обучения. С середины 70х до конца 90х годов кафедра готовила специалистов для развивающихся стран Азии, Африки и Латинской Америки.

В 1985 году был принят Указ, который заставил кафедру технологии бродильных производств не только переориентироваться на подготовку специалистов в основном по производству безалкогольных и слабоалкогольных напитков и их концентратов, но и сменить название кафедры, уменьшить набор студентов. С 1988 г по 1994 год кафедру биотехнологии возглавляла профессор Е.Д. Фараджева, под руководством которой защищены кандидатские диссертации А.Е. Чусовой (1997 г.), Н.И. Гунькиной (1997 г.), Е.В. Ерошкиной (2000 г.), Р.В. Кораблиным (2003 г.), Д.Н. Болотовым (2004 г.), гражданкой Монголии Дамдинсурен Алтанцег (2005 г.). В течение 10 лет кафедра носила название «Кафедра биотехнологии». С 1996 года кафедра стала вновь называться кафедрой технологии бродильных производств и виноделия.

В 1994 году был избран заведующим кафедрой биотехнологии С. В. Востриков, в 2000 году он защитил докторскую диссертацию, посвященную разработке новой ресурсосберегающей технологии этилового спирта из зернового сырья, занимался внедрением этой технологии.

С.В. Востриков руководил аспирантурой, под его руководством защитили диссертации – О.Ю. Мальцева (1999 г.), М.В. Боднар (1999 г.), С.Ю. Болдырев (1999 г.), Д.В. Игнатов (2002 г.), Е.А. Горшков (2002 г.), А.В. Федоров (2002 г.), А.В. Данковцев (2003 г.), И.В. Новикова (2004 г.), Н.В. Саутина (2006 г.), М.А. Бушин (2006 г.), А.В. Коростелев (2011 г.), Е.А. Коротких (2012 г.). Он являлся деканом факультета прикладной биотехнологии Воронежской государственной технологической академии, опубликовал более 200 научных работ, получил 30 авторских свидетельств и патентов.

В 2012 году кафедре технологии бродильных производств и виноделия возглавил доктор технических наук, профессор Агафонов Геннадий Вячеславович, под руководством которого, защитила в 2015 году докторскую диссертацию будущий декан технологического факультета Новикова Инна Владимировна, а в 2020 году – кандидатские диссертации Т.С. Ковалева, А.В. Зеленкова.

Результаты научных разработок профессора И.В. Новиковой отражены в более 200 научных и методических разработках, а также в диссертационных работах И.А. Юрицына (2019 г.), П.В. Рукавицына (2021 г.) под ее руководством.

Кафедра технологии сахаристых веществ. Из Ленинграда в Воронеж приехали всего 2 профессора (С.З. Иванов и В.И. Попов) и 13 преподавателей, в том числе доценты В.С. Василега, В.Г. Черникина, ст. преп. М.В. Гончарук, ассистент А.И. Громковский.

В 1963 г. состоялся первый выпуск в количестве 50 специалистов. Эффективно готовились научные кадры в аспирантуре. Под научным руководством профессора С.З. Иванова защитили кандидатские диссертации - А.Р. Сапронов, А.И. Громковский, В.П. Палаш, Е.С. Лыгин, В.А. Пронина, З.А. Милькова, И.П. Оробинский, В.А. Лосева, Ха Хыу Фай, В.А. Голыбин, В.Г. Черникина и др.. В 1973 г. проф. С.З. Иванову было присвоено почетное «Заслуженный деятель науки и техники РСФСР».

С 60-х годов и далее продолжались исследования, начатые профессором П.М. Силиным. Результатом выполненных научных исследований явились защиты докторских диссертаций доцентами А.Р. Сапроновым (1970 г.), В.А. Голыбиным (1998 г.), В.А. Лосевой (1998 г.), Н.Г. Кульневой (2011 г.).

По результатам научных исследований были обоснованы научно-практические рекомендации по совершенствованию технологических процессов и их аппаратного оформления, которые внедрены на сахарных заводах Центрально-Черноземного региона, Краснодарского и Ставропольского краев, Орловской, Пензенской и др. областей. Были организованы филиалы кафедры на Рамонском, Добринском сахарных заводах, в технологическом отделе ВНИИСС.

На кафедре продолжается развитие научного направления по совершенствованию и оптимизации технологии и процессов сахарного производства.

Проф. А. И. Громковский заведовал кафедрой с 1979 по 2005 год. Им теоретически обоснованы и практически усовершенствованы процессы кристаллизации сахарозы из производственных сахарных растворов. Под его руководством выполнены и защищены кандидатские диссертации Н.А. Ремизовой, В.С. Богданчиковой, Н.С. Остроуховым, В.В. Смольяниновым, Ю.И. Последовой, В.М. Фурсовым, В.Е. Апасовым, Камалем Муса, Камалем Сулейманом (Судан), Фаридом Хаммудом (Сирия), Н.Н. Бражниковым.

Проф. В.А. Лосева внесла огромный вклад в разработку и теоретическое описание новых способов физико-химической очистки производственных сахарных растворов, что получило развитие в кандидатских диссертациях Р.П. Лисицкой, Н.Г. Кульневой, И.С. Наумченко, А.А. Ефремова, Л.Н. Путилиной, А.Н. Баранниковой, И.В. Квитко, С.Б. Зуевой, Н.В. Кириллова, Н.А. Матвиенко.

Проф. Голыбин В.А. заведовал кафедрой с 2005 по 2013 год. Сферой его научных интересов являлось совершенствование физико-химических основ процессов известково-углекислотной очистки диффузионного сока. В этой области под его руководством подготовлены и защищены кандидатские диссертации Ю.И. Зелепукиным, В.А. Федоруком, А.В. Пономаревым, К.К. Горожанкиной, К.В. Головой, докторская диссертация доц. Н.Г. Кульневой.

Результаты научных разработок проф. Н.Г. Кульневой отражены в более 500 научных и методических разработках, 32 авторских свидетельствах и патентах, а также в диссертационных работах А.И. Шматовой, М.В. Журавлева, гражданина Эфиопии Бирао Гебре Эгнет.

Научное направление кафедры активно развивается, выполняются диссертационные работы - за последние годы лет защищены 5 кандидатских диссертаций (научные руководители профессора Н.Г. Кульнева и В.А. Голыбин). Совершенствуется учебно-методическая база профильного обучения, активизируется работа по поддержанию взаимовыгодных связей с сахарными компаниями и заводами, профильными НИИ.

Кафедра технологии бродильных и сахаристых производств. В 2013 году произошло объединение двух старейших кафедр – кафедры технологии бродильных производств и виноделия и кафедры технологии сахаристых веществ. В настоящее время заведующим объединённой кафедры технологии бродильных и сахаристых производств является Г.В. Агафонов. Им опубликовано более 400 научных работ, 2 учебника, получено около 30 авторских свидетельств и патентов России. В настоящее время является членом-корреспондентом Международной академии холода.

100 лет осуществляется подготовка инженеров-броdistов и инженеров-сахарников, богатые традиции успешно продолжают сотрудниками кафедры технологии бродильных и сахаристых производств. Под руководством преподавателей кафедры проводятся студенческие научно-исследовательские работы, по результатам которых подаются заявки на изобретение (проф. Кульнева Н.Г. совместно со студентами получила 4 патента РФ за 2020-2024 гг.), под руководством профессора Новиковой И.В. и доцентов Чусовой А.Е. и Романюк Т.И. в научно-практической лаборатории ведутся разработки технологий напитков, в том числе специального и функционального назначения, под руководством профессора Агафонова Г.В. и доцентов Яковлева А.Н. и Зуевой Н.В. –получают зерновые и плодовые дистилляты на специальной установке, под руководством профессора Новиковой И.В. и доцента Коротких Е.А. продолжается «винная» тематика: разработана экспериментальная установка для получения вин и винных напитков из винограда и яблок. Сотрудники лаборатории - студенты ВГУИТ, принимают участие в качестве технологов, микробиологов, химиков-технологов, инженеров-механиков в разработке новых рецептов и технологий производства ферментативных и безалкогольных напитков, воссоздают забытые, но актуальные рецепты. Студентами и преподавателями разрабатываются инженерные решения, имеющие важное прикладное значение. Оборудование, установленное на производственной линии лаборатории, позволяет воспроизвести практически любой стиль напитка, а также квасы, лимонады, сидры. Мы стараемся получать интересные сорта, которые требуют применения различных штаммов микроорганизмов, необычных технологических приемов, например, с добавлением соков и мякоти фруктов, с длительным кипячением сула с хмелем, с холодным охмелением и т.д.

Школьники при проведении профориентационных мероприятий знакомятся с историей происхождения напитков, участвуют в профориентационных мастер классах «Какой я дегустатор» с оценкой качества безалкогольной продукции – квасов и лимонадов, как и студенты 1 курса при прохождении учебной практики.

Студенты 2-4 курсов бакалавриата, 1-2 курса магистратуры допускаются после прохождения соответствующей аттестации к производственным процессам и анализу качества готовой продукции по ГОСТ и микробиологической оценке. Студенты, участвующие в научно-исследовательской работе, публикуя свои научные значения в высокорейтинговых журналах, участвуют и побеждают в конкурсах, проводимых Министерством науки и высшего образования Российской Федерации:

- во Всероссийском инженерном конкурсе (ВИК) в номинации «Лучшая выпускная квалификационная работа бакалавра», победители которого могут получать стипендии президента/правительства Российской Федерации;

- в конкурсе «УМНИК» с объемом финансирования 500 000 р на год;

- в конкурсе «Студенческий Стартап» с объемом финансирования 1 000 000 р в год;

- в конкурсе Российского научного фонда (РНФ) «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами» с объемом финансирования 1,5 млн руб в год.

В институте дополнительного образования (ИДО) ФГБОУ ВО «ВГУИТ» организованы курсы по повышению квалификации и переподготовки специалистов бродильной и сахарной промышленности. Слушатели ИДО повышают квалификацию или проходят переподготовку для организации работы на сахарном заводе, пивоваренном предприятии, цехе по производству безалкогольной продукции. В Вузе разработаны программы, которые

реализуются преподавателями кафедры технологии бродильных и сахаристых производств в рамках теоретической подготовки и технологами ООО «ЧП Рейвенкрафт» и ГК «Таркос» в рамках практической подготовки. Каждый слушатель может принять участие в этапах затираания или производства напитков, квасов и проанализировать в конце обучения готовую продукцию под наблюдением опытных специалистов.

Общей темой научных исследований кафедры является «Совершенствование и разработка энергоэффективных, природо-, ресурсосберегающих и биотехнологий переработки растительного сырья».

Для реализации научных тематик преподаватели и студенты кафедры проводят и участвуют в научно-практических конференциях различного уровня, поддерживают контакты с зарубежными коллегами, с производственниками. Живой опыт и интересный рассказ практика всегда интересен нашим студентам. Мы стараемся проводить для них мастер-классы, сообщать о профессиональных секретах не только посредством учебников, учебных пособий и монографий, выпускаемых преподавателями, но и передавать, систематизировать накопленный научный потенциал созданием баз данных законченных, полностью подготовленных к внедрению и наиболее значимых научно-исследовательских тем.

Выпускники кафедры очень востребованы и не остаются без работы, на старших курсах на Карьерных форумах их замечают и ориентируют на конкретное предприятие. Практически на всех предприятиях бродильной и сахарной промышленности трудятся наши выпускники, получая достойную зарплату и реализуя карьерный рост.

За годы существования кафедра выпустила несколько тысяч технологов бродильной и сахарной промышленности, лучшие из них поступили на работу на ведущие предприятия отрасли: спиртовые, пивоваренные, ликероводочные, солодовенные, дрожжевые, сахарные, крахмало-паточные заводы, безалкогольные, винодельческие предприятия России.

Коллектив и студенты кафедры оперативно реагирует на запросы коллег-производственников: реализуются хоздоговора, через ИДО - программы для повышения квалификации и переподготовки специалистов.

Пусть же, вступая во второе столетие, кафедра поддерживает добрые традиции и прославляет родной ВГУИТ во имя нашего Отечества. А коллегам - радости в жизни, успехов в работе, оптимизма, здоровья! Не останавливаться на достигнутом.

Зав. каф. ТБиСП проф Г.В.Агафонов

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

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

Материалы журнала размещаются в
БД РИНЦ, БД AGRIS– выборочно, ЭБС Лань, ЭБС IPRbooks, ЭБ КиберЛенинка, БД ВИНТИ РАН,
НИС Соционет, БД Directory of Open Access Journals (DOAJ), БД Open Access scholarly Resources (ROAD),
The European Library (TEL), БД AcademicKeys, Research Bible, БД EBSCO Publishing, Academic Keys

**Соответствие рубрик/разделов журнала Вестник ВГУИТ
Номенклатуре научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени.**

1.1 Процессы и аппараты пищевых производств

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

1.2 Пищевая биотехнология

4.3.3. Пищевые системы (технические науки)

4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ (технические науки)

2. Химическая технология

2.6.7. Технология неорганических веществ (технические науки)

2.6.7. Технология неорганических веществ (химические науки)

2.6.10. Технология органических веществ (химические науки)

2.6.10. Технология органических веществ (технические науки)

2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (химические науки)

2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)

2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ (технические науки)

2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (физикоматематические науки)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА

Председатель (Главный редактор):

КОРНЕЕВА ОЛЬГА СЕРГЕЕВНА доктор биологических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, и.о. проректора по научной и инновационной деятельности, зав. кафедрой биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-2863-0771

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ РУБРИК

Процессы и аппараты пищевых производств

ОСТРИКОВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ (гл. ред.) доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, зав. кафедрой технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

АЛЕКСЕЕВ ГЕННАДИЙ ВАЛЕНТИНОВИЧ доктор технических наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ, профессор факультета биотехнологий, научный руководитель образовательной программы «Процессы и аппараты пищевых производств», Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет ИТМО (г. Санкт-Петербург, Россия) ORCID- 0000-0002-2867-108X

АНТИПОВ СЕРГЕЙ ТИХОНОВИЧ доктор технических наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ, заслуженный изобретатель РФ, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-8932-5922

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

БРЕДИХИН СЕРГЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ доктор технических наук, профессор, кафедра процессы и аппараты перерабатывающих производств, Российский государственный аграрный университет - Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева (Москва, Россия)

ВАСИЛЕНКО ВИТАЛИЙ НИКОЛАЕВИЧ доктор технических наук, профессор, и.о. проректора по учебной работе, зав. кафедрой машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-1547-9814

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

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

МАКСИМЕНКО ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе и инновациям, заведующий кафедрой технологические машины и оборудование, Астраханский государственный технический университет (Астрахань, Россия)

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

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

ЧЕРТОВ ЕВГЕНИЙ ДМИТРИЕВИЧ доктор технических наук, профессор, советник при ректорате, зав. кафедрой технической механики, почетный работник высшего профессионального образования РФ, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

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

Пищевая биотехнология

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

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

АМИРОВА ЭЛЛИ доктор наук, основатель и генеральный директор Succinto Inc. (Ла-Меса, США) ORCID: 0000-0002-9377-3875

АНТИПОВА ЛЮДМИЛА ВАСИЛЬЕВНА (гл. ред.) доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-1416-0297

БРЕНЧ АНДРЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ кандидат технических наук, доцент, декан инженерно-технологического факультета учреждения образования, Белорусский государственный аграрный технический университет (Минск, Беларусь) ORCID: 0000-0001-6604-9366

ВАЙБХАВКУМАР ГАВАЛИ доктор наук, постдокторант, фармакология, отделение внутренней медицины, Медицинский колледж (Цинциннати, США) ORCID: 0000-0002-7917-4913

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

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

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

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

ЙОРДАНОВ ДИНКО ГЕОРГИЕВ доктор наук, доцент кафедры мясные и рыбные технологии, Университет пищевых технологий (Пловдив, Болгария) ORCID: 0000-0002-9300-6588

КАЧАНОВА МИРОСЛАВА доктор наук, профессор кафедры плодородия, виноградарства и экологии, Словацкий сельскохозяйственный университет (Нитра, Словакия), отдел биоэнергетики и пищевых технологий, Жешувский университет (Жешув, Польша) ORCID: 0000-0002-4460-0222

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

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

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

МАСЛОВ АЛЕКСАНДР доктор медицинских наук, доцент кафедры генетики, Медицинский колледж Альберта Эйнштейна (Нью-Йорк, США) ORCID: 0000-0001-5402-8891

МБАРГА МАНГА ДЖОЗЕФ АРСЕН магистр агрономии, научный сотрудник кафедры микробиологии и вирусологии, Российский университет дружбы народов (Москва, Россия) ORCID: 0000-0001-9626-9247

МИРОНЕСКУ МОНИКА доктор наук, доцент, факультет сельскохозяйственных наук, пищевой промышленности и охраны окружающей среды, Университет «Луциан Блага» (Сибиу, Румыния) ORCID: 0000-0002-0515-475X

ОСПАНОВ АБДЫМАНАП АБУБАКИРОВИЧ академик КазНАЕН, доктор технических наук, профессор, руководитель учебного научно-производственного Центра «Технология перерабатывающих производств», Казахский национальный аграрный университет (Алматы, Казахстан) ORCID: 0000-0002-3813-603X

ПАНДА ВАНДАНА доктор наук, доцент кафедры фармакологии, Ведущий фармацевтический колледж им. К. М. Кунднани (Мумбай, Индия) ORCID: 0000-0002-7016-7813

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

РОДИОНОВА НАТАЛЬЯ СЕРГЕЕВНА доктор технических наук, профессор, профессор кафедры сервиса и ресторанного бизнеса, декан факультета экономики и управления, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-6940-7998

СУНДАРРАДЖАН ПРИЯ магистр наук, доктор наук, доцент кафедры естественных наук и биохимии, колледж Святого Ксавьера, Университет Мумбаи (Мумбаи, Индия)

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

ЭСРА КАПАНОГЛУ доктор наук, доцент кафедры пищевой инженерии, Стамбульский технический университет (Стамбул, Турция) ORCID: 0000-0003-0335-9433

Химическая технология

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

БИТЮКОВ ВИТАЛИЙ КСЕНОФОНОВИЧ доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, советник при ректорате, профессор кафедры информационных и управляющих систем, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

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

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

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

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

МОКШИНА НАДЕЖДА ЯКОВЛЕВНА доктор химических наук, доцент, профессор кафедры физики и химии, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0001-8409-024X

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

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

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

СУХАНОВ ПАВЕЛ ТИХОНОВИЧ доктор химических наук, профессор, советник при ректорате по научно-методической деятельности, профессор кафедры физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-2588-9286

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

Экономика и управление

ХОРЕВ АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ (гл. ред.) доктор экономических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, зав. кафедрой экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-8438-0607

АВЕЗОВ АЗИЗУЛЛО ХАБИБОВИЧ доктор экономических наук, профессор кафедры отраслевых рынков, Худжандский Политехнический институт Таджикского Технического университета им. Академика М.С. Осими (Худжанд, Таджикистан) ORCID: 0000-0002-5867-648X

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СИБИРСКАЯ ЕЛЕНА ВИКТОРОВНА доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры статистики, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова (Москва, Россия) ORCID: 0000-0001-5496-1446

СОВИК ЛЮДМИЛА ЕГОРОВНА доктор экономических наук, профессор, кафедра экономики и бизнеса, Полесский государственный университет (Пинск, Беларусь) ORCID: 0000-0002-427-9789

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

Подписной индекс издания в агентстве "Роспечать" 70927

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

Учредитель: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

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

Адрес университета, редакции, издательства и отдела полиграфии ФГБОУ ВО «ВГУИТ»

394036, Воронеж, пр. Революции д.19 ауд.11

тел./факс: (473) 255-37-16

E-mail: post@vestnik-vsuet.ru

Сдано в набор 04.03.2024. Подписано в печать 20.03.2024

Выход в свет: 29.03.2024

Формат 70×100 1/8.

Усл. печ. л. 45,5 Тираж 1500 экз. Заказ.

Цена – свободная.

© ФГБОУ ВО

«Воронеж. гос. ун-т инж.
технол.», 2024

**The magazine is included in the list of publications recommended
by the Higher Attestation Commission**

**Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
for the publication of dissertation research**

Letter of the List of Peer-reviewed Scientific Publications from 28/12/2018. (<https://goo-gl.ru/4XHR>)

Journal materials are placed in

RSCI DB, AGRIS DB - selectively, EB Doe, EBR IPRbooks, EB CyberLenink, DB VINITI RAS, NIS Socionet, Directory of Open Access Journals (DOAJ) database, Open Access scholarly Resources (ROAD) database, The European Library (TEL), AcademicKeys database, Research Bible, EBSCO Publishing database, Academic Keys

**Correspondence of rubrics/sections of the journal Proceedings of VSUET
The nomenclature of scientific specialties for which academic degrees are awarded.**

1.1 Food production processes and apparatus

4.3.1. Technologies, machines and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

1.2 Food biotechnology

4.3.3. Food systems (engineering sciences)

4.3.5. Biotechnology of food and biologically active substances (technical sciences)

2. Chemical technology

2.6.7. Technology of inorganic substances (engineering sciences)

2.6.7. Technology of inorganic substances (chemical sciences)

2.6.10. Technology of organic substances (chemical sciences)

2.6.10. Technology of organic substances (engineering sciences)

2.6.11. Technology and processing of synthetic and natural polymers and composites (chemical sciences)

2.6.11. Technology and processing of synthetic and natural polymers and composites (technical sciences)

2.6.12. Chemical technology of fuels and high-energy substances (technical sciences)

2.6.13. Processes and apparatus of chemical technologies (technical sciences)

2.6.13. Processes and apparatuses of chemical technologies (physical and mathematical sciences)

EDITORIAL COUNCIL

Chairman (Editor-in-chief):

KORNEEVA, OLGA SERGEEVNA doctor of biological sciences, professor, honored worker of higher school of Russia, acting vice-rector for research and innovation, head of the department of biochemistry and biotechnology, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia) ORCID: 0000-0002-2863-0771

EDITORIAL TEAM

Processes and devices for food production

OSTRIKOV, ALEKSANDR NIKOLAEVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of Russia, Head of Department Technology of fats, processes and equipment of chemical and food production, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

ALEKSEEV, GENNADY VALENTINOVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Professor of the Faculty of Biotechnology, Scientific Supervisor of the educational program "Processes and Apparatus for Food Production", St. Petersburg National Research University ITMO (St. Petersburg, Russia) ORCID- 0000-0002-2867-108X

ANTIPOV, SERGEY TIKHONOVICH Doctor of Technical Sciences, professor, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, honored inventor of the Russian Federation, Professor of the Department of Machines and Apparatuses of Food Production, Voronezh state university of engineering technologies (Voronezh, Russia) ORCID: 0000-0002-8932-5922

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

BREDIKHIN, SERGEY ALEKSEEVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Processes and Apparatuses of Processing Industries, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after them. K.A. Timiryazev (Moscow, Russia)

VASILENKO, VITALII NIKOLAEVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Academic Affairs. Head of the Department of Machines and Apparatuses of Food Production, the Dean of the Technology Faculty, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia) ORCID: 0000-0002-1547-9814

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

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

MAKSIMENKO, YURI ALEKSANDROVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Research and Innovation, Head of the Department of Technological Machines and Equipment, Astrakhan State Technical University (Astrakhan, Russia)

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

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

CHERTOV, EVGENY DMITRIEVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Advisor to the administration, Head of the Department of Technical Mechanics, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Voronezh state university of engineering technologies (Voronezh, Russia)

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

Food biotechnology

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

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

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

AMIROVA ELLIE DAOM, PhD, Diplomate of OM, LAc), Founder and CEO of Succuro Inc. (La Mesa, USA) ORCID: 0000-0002-9377-3875

BRENCHECH, ANDREY ALEXANDROVICH Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Engineering and Technology of the Educational Institution, Belarusian State Agrarian Technical University (Minsk, Belarus) ORCID: 0000-0001-6604-9366

VAIBHAVKUMAR, SHANTARAM GAWALI, M.Pharm., Ph.D., Postdoctoral Fellow, Pharmacology, Department of Internal Medicine, College of Medicine, India affiliated to University of Cincinnati. (Cincinnati, USA) ORCID: 0000-0002-7917-4913

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

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

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

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

YORDANOV DINKO GEORGIEV PhD., Associate Professor, meat and fish technology, University of Food Technologies (Plovdiv, Bulgaria) ORCID: 0000-0002-9300-6588

KACANIOVA MIROSLAVA PhD., Department of Fruit sciences, Viticulture and Enology, Faculty of Horticulture and Landscape Engineering, Slovak University of Agriculture (Nitra, Slovakia), full professor, Department of Bioenergy and Food Technology, Faculty of Biology and Agriculture, University of Rzeszow (Rzeszow, Poland) ORCID: 0000-0002-4460-0222

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

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

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

MASLOV ALEXANDER MD/PhD, Research Assistant Professor, Department of Genetics, Albert Einstein College of Medicine (New York, USA) ORCID 0000-0001-5402-8891

MBARGA MANGA JOSEPH ARSENE master of Science in Agronomy, Researcher in the Department of Microbiology and Virology, People's Friendship University of Russia (Moscow, Russia) ORCID: 0000-0001-9626-9247

MIRONESCU MONICA PhD, Associate Professor, Faculty of Agricultural Sciences, Food Industry and Environmental Protection, Lucian Blaga University of Sibiu (Sibiu, Romania) ORCID: 0000-0002-0515-475X

OSPANOV, ABDYMANAP ABUBAKIROVICH Academician KazNAEN, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Educational Research and Production Center "Technology of Processing Industries", Kazakh National Agrarian University (Almaty, Kazakhstan) ORCID: 0000-0002-3813-603X

PANDA, SANJEEV VANDANA Ph.D., Associate Professor, Pharmacology, Prin. K. M. Kundnani College of Pharmacy (Mumbai, India) ORCID: 0000-0002-7016-7813

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

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

SUNDARRAJAN PRIYA M.Sc, Ph.D., Associate Professor, Department of Life Science and Biochemistry, St. Xavier's College, India affiliated to University of Mumbai. (Mumbai, India)

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

ESRA CAPANOGLU Ph.D., Associate Professor, Istanbul Technical University, Food Engineering Department (Istanbul, Turkey) ORCID: 0000-0003-0335-9433

Chemical Technology

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

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

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

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

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

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

MOKSHINA, NADEZHDA IAKOVLEVNA doctor of Chemical Sciences, associate professor, professor of the Department of Physics and Chemistry, Air Force Academy named after Prof. N. E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin (Voronezh, Russia) ORCID: 0000-0001-8409-024X

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

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

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

SUKHANOV, PAVEL TIKHONOVICH doctor of Chemical Sciences, Professor, Vice Rector for Research and Innovation. Professor of the Department of Physical and Analytical Chemistry, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

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

Economics and Management

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

AVESOV, AZIZULL HABIBOVICH Doctor of Economics, Professor, Department of Industrial Markets, Khujand Polytechnic Institute of Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi (Khujand, Tajikistan) ORCID: 0000-0002-5867-648X

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

SOVIK, LYUDMILA EGOROVNA Doctor of Economic Science, Professor, Department of Economics and Business, Polessky State University (Pinsk, Belarus) ORCID: 0000-0002-427-9789

Official site: www.vestnik-vsuet.ru

Subscription index of the publication in the Rospechat agency 70927

Executive Secretary: DERKANOSOVA A.A. (email post office: post@vestnik-vsuet.ru)

Founder: Voronezh State University of Engineering Technologies

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications: Certificate of Registration ПИ № ФС77-56830 January 29, 2014

Address of the university, editorial office, publishing house and printing department of FSBEI HE "VGUIT"

394036, Voronezh, pr. Revolution 19, room 11

tel / fax: (473) 255-37-16

E-mail: post@vestnik-vsuet.ru

Put in set 04.03.2024. Signed to print 20.03.2024

The publication: 29.03.2024

Format 70×100 1/8.

Conditional Print l. 45.5 Circulation 1500 copies.

Price - Free.

© FSBEI HE

"Voronezh State University
of Engineering
Technologies", 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

- Лыткина Л.И., Шевцов А.А., Проскурина О.П.** Резервы энергоэффективности в технологии гранулированных комбикормов с использованием микроводоросли хлореллы и фуза подсолнечного масла 22
- Шишацкий Ю.И., Никель С.А., Толстов С.А., Авцинов И.А., Дерканосова А.А., Емельянов А.Е.** Механизмы передачи теплоты в градирнях (теория и методы расчёта) 31

ПИЩЕВАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ

- Ковалева А.Е., Пьяникова Э.А., Рязанцева А.С., Калугин Е.Ю., Грешилов Е.Т., Овчинникова Е.В.** Влияние добавления муки из овсяных хлопьев на технологические параметры приготовления пшеничного багета 38
- Рылькова А.Ю., Гусева Е.В., Сафаров Р.Р., Меньшутин Н.В.** Моделирование распределения кислорода в микрофлюидном реакторе при культивировании стволовых клеток 46
- Дранников А.В., Шевцов А.А., Полянский К.К., Домбровская Я.П., Дерканосова А.А., Колесник М.С.** Разработка технологии пшенично-тритикалевого хлеба, устойчивого к микробиологической порче 56
- Давыденко С.Г., Меледина Т.В., Андреева А.** Исследование морфологических свойств дрожжей, перспективных для производства этанола 63
- Коновалов С.А., Гаврилова Н.Б., Полянский К.К., Щетинин М.П., Чернопольская Н.Л.** Современная биотехнология производства молочного десерта с функциональными ингредиентами 70
- Писарева Е.В., Власов М.Ю., Волова Л.Т., Ищенко К.С., Сергеева С.С.** Метаболические процессы в костной ткани при воздействии гипертермии и введении аллогенного кальцийсодержащего биоматериала «Лиопласт» 84
- Никитина С.Ю., Гордиенко А.С., Зуева Н.В., Яковлев А.Н.** К вопросу о получении зерновых дистиллятов из ферментированного сырья 89
- Ковалева А.Е., Пьяникова Э.А., Рязанцева А.С., Грешилов Е.Т., Евдокимова О.В.** Технология производства бисквитного полуфабриката для веганов 97
- Волкова Г.С.** Создание ассоциаций пробиотиков для пищевых продуктов и кормов 103
- Молчанова Е.Н., Бердимуратова М., Сечков И.Д.** Панировочные системы: II. Возможности безглютеновых альтернатив 108
- Жуковская С.В., Бабаева М.В., Агафошкина А.Е., Воробьев Д.А., Сахарова С.И., Яковлев А.Н.** Подбор оптимального состава затора из местного сырья для культивирования уксуснокислых бактерий в процессе производства яблочного уксуса 117
- Криваносов И.Н., Новикова И.В., Муравьев А.С.** Обзор: Непрерывное брожение пива 126
- Купчак Д.В., Доценко С.М., Любимова О.И., Боярина И.В.** Физико-химическая кинетика водонасыщения семян сои в процессе производства современных пищевых систем 131
- Мельникова Е.И., Станиславская Е.Б., Копылов М.В., Берестовой А.А., Антонова Н.Н., Алексеева Т.Р.** Получение и применение сухого микропартикулята сывороточных белков в технологии вареных колбас 137
- Оселедцева И.В., Назаренко М.А., Палагин К.А., Ханин Д.К., Чусова А.Е., Киселев А.С.** Влияние способа отварочного затирания на состав молодого светлого пива 144
- Казарцев Д.А., Ключников А.И., Галкин А.И., Муравьев А.С., Новикова И.В., Коротких Е.А.** Технологические особенности созревания вина и пива в емкостях из нержавеющей стали и дубовых бочках 155
- Агафонов Г.В., Полянский К.К., Шелехова Н.В., Чусова А.Е., Тарарыков М.П.** Хроматографические методы в изучении химического состава алкогольных напитков 164
- Арустамов Я.Р., Новикова И.В., Муравьев А.С.** Обзор: биотехнология пива с применением дрожжей рас квейк, особенности производства и новые технологии 173
- Пермякова Л.В., Сергеева И.Ю., Лашицкий С.С., Матвиенко Н.А., Киселев А.С., Тимофеев И.С.** Получение сброженной основы для кваса с использованием природного источника сахара 181
- Миллер Ю.Ю., Киселева Т.Ф., Помозова В.А.** Использование сухих микроорганизмов в производстве кваса 189

Смирнова Е.Ю., Гнучих Е.В., Бубнов Е.А., Славянский А.А.	Исследование факторов, влияющих на содержание токсичных веществ в дыме изделий из табака курительного тонкорезаного	196
Широкова Н.В., Шкуров А.В., Трегубов А.В., Куц А.А.	Исследование качественных показателей, функционально-технологических свойств изолятов растительного белка	201
Золотокопова С.В., Короба И., Неваленная А.А., Миронов А.И.	Влияние растительных ингредиентов на качество сухих рыборастворительных пищевых концентратов	207

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Комарова Л.Ю., Ямилинец С.Ю., Дмитриев Л.Д., Долгонос В.К., Кондратов А.П.	Упругое проскальзывание в задачах печати под давлением	212
Попов С.В., Плешакова Н.А., Махмудов Р.А.	Получение высококонцентрированных пропиленовой и пропановой фракций на АГФУ FCC	219
Лямаев О.Ю., Попов С.В.	Оптимизация технологических режимов колонны разделения продуктов реакции на установке изомеризации лёгких парафинов	227
Кончина Т.А., Опарина С.А., Баронова Е.В.	Влияние комплексного соединения кобальта на пол и некоторые биологические характеристики шпината	235
Мелесе И.И., Филинская Ю.А., Кириш И.А., Альхаир А.Я.	Валоризация и характеристика физико-механических свойств текстильных отходов для полимерных композитов	242
Попов С.В., Плешакова Н.А., Куц Д.И.	Замена испаряющего агента на колонне К-1 установки первичной переработки нефти	249
Потапов М.С., Попов С.В.	Совершенствование технологической схемы установки низкотемпературной изомеризации лёгкой бензиновой фракции	258
Киселев И.С.	Физико-механические показатели вулканизатов на основе жидкофазно-наполненного озонированным техническим углеродом каучука СКС-30 АРК	265

CONTENTS

PROCESSES AND APPARATUSES OF FOOD ENGINEERING

- Lytkina L.I., Shevtsov A.A., Proskurina O.P.** Energy efficiency reserves in granular technology feed using chlorella microalgae and sunflower oil fuza 22
- Shishatskii Yu.I., Nickel S.A., Tolstov S.A., Avcinov I.A., Derkanosova A.A., Emelyanov A.E.** Heat transfer mechanisms in cooling towers (theory and calculation methods) 31

FOOD BIOTECHNOLOGY

- Kovaleva A.E., Pyanikova E.A., Ryazantseva A.S., Kalugin E.Yu., Greshilov E.T., Ovchinnikova E.V.** The effect of adding flour from oat flakes on the technological parameters of the preparation of wheat baguette 38
- Rylkova A.Yu., Guseva E.V., Safarov R.R., Menshutina N.V.** Modeling of the oxygen distribution in a microfluidic reactor during stem cell cultivation 46
- Drannikov A.V., Shevtsov A.A., Polyansky K.K., Dombrovskaia Ya.P., Derkanosova A.A., Kolesnik M.S.** Development of technology for wheat-triticale bread resistant to microbiological spoilage 56
- Davydenko S.G., Meledina T.V., Andreeva A.** Investigation of morphophysiological properties of yeast promising for ethanol production 63
- Konovalov S.A., Gavrilova N.B., Polyansky K.K., Shchetinin M.P., Chernopolskaya N.L.** Modern Biotechnology to produce Dairy Dessert with Functional Ingredients 70
- Pisareva E.V., Vlasov M.Yu., Volova L.T., Ishchenko K.S., Sergeeva S.S.** Metabolic processes in bone tissue under exposure to hyperthermia and administration of allogenic calcium-containing biomaterial "Lyoplast" 84
- Nikitina S.Yu., Gordienko A.S., Zueva N.V., Yakovlev A.N.** On the issue of obtaining grain distillates from fermented raw materials 89
- Kovaleva A.E., Pyanikova E.A., Ryazantseva A.S., Greshilov E.T., Evdokimova O.V.** Technology of production of semi-finished biscuit for vegans 97
- Volkova G.S.** Establishment of probiotic associations for foods and feeds 103
- Molchanova E.N., Berdimuratova M., Sechkov I.D.** Breeding Systems: II. Opportunities For Gluten-Free Alternative 108
- Zhukovskaya S.V., Babaeva M.V., Agafoshkina A.E., Vorobjov D.A., Sakharova S.I., Yakovlev A.N.** Selection of the optimal composition of mash from local raw materials for the cultivation of acetic acid bacteria in the production of apple cider vinegar 117
- Krivanosov I.V., Novikova I.V., Muravev A.S.** Review: Continuous fermentation of beer 126
- Kupchak D.V., Dotsenko S.M., Lyubimova O.I., Boyarineva I.V.** Physical and chemical kinetics of water saturation of soybean seeds in the process of modern food systems production 131
- Melnikova E.I., Stanislavskaya E.B., Kopilov M.V., Berestovoy A.A., Antonova N.N., Alexeeva T.R.** Preparation and use of dry microparticulate whey proteins in the technology of cooked sausages 137
- Oseledtseva I.V., Nazarenko M.A., Palagin K.A., Khanin D.K., Chusova A.E., Kiselev A.S.** Effect of the cooking method on the composition of young light beer 144
- Kazartsev D.A., Klyuchnikov A.I., Galkin A.I., Muravev A.S., Novikova I.V., Korotkikh E.A.** Technological features of wine and beer maturation in stainless steel tanks and oak barrels 155
- Agafonov G.V., Polyansky K.K., Shelekhova N.V., Chusova A.E., Tararykov M.P.** Chromatographic methods in the study of the chemical composition of alcoholic beverages 164
- Arustamov Ya.R., Novikova I.V., Muravev A.S.** Overview: beer biotechnology using kweik yeast, production features and new technologies 173
- Permyakova L.V., Sergeeva I.Yu., Lashitsky S.S., Matvienko N.A., Kiselev A.S., Timofeev I.S.** Obtaining fermented kvass base using a natural sugar source 181
- Miller Ju.Yu., Kiseleva T.F., Pomezova V.A.** The use of dry microorganisms in the production of kvass 189
- Smirnova E.Yu., Gnuchikh E.V., Bubnov E.A., Slavyansky A.A.** Studying factors affecting yields of toxic compounds in smoke of products made of smoking fine cut tobacco 196
- Shirokova N.V., Shkurov A.V., Tregubov A.V., Kuts A.A.** Study of quality indicators, functional and technological properties of vegetable protein isolates 201
- Zolotokopova S.V., Koroma I., Nevalennaya A.A., Mironov A.I.** The effect of vegetable plant ingredients on the quality of dry fish-vegetable food concentrates 207

CHEMICAL TECHNOLOGY

Komarova L.Yu., Yamilinec S.Yu., Dmitriev L.D., Dolgonosov V.K., Kondratov A.P. Elastic slip in printing tasks under pressure	212
Popov S.V., Pleshakova N.A., Makhmudov R.A. Production of highly concentrated propylene and propane fractions at the FCC AGFU	219
Lyamaev O.Yu., Popov S.V. Optimization of technological modes of the reaction product separation column at the light paraffin isomerization plant	227
Konchina T.A., Oparina S.A., Baronova E.V. The impact of the cobalt complex compound on the sex and some biological characteristics of spinach	235
Melesse E.Y., Filinskaya Yu.A., Kirsh I.A., Alkhair A.Y. Valorization and Characterization of the Physicomechanical Properties of Textile Waste for Polymer Composites	242
Popov S.V., Pleshakova N.A., Kuts D.I. Replacement of the evaporating agent on the K-1 column of the primary oil refining unit	249
Potapov M.S., Popov S.V. Improvement of the technological scheme of the installation of low-temperature isomerization of light gasoline fraction	258
Kiselev I.S. Physico-mechanical properties of vulcanizates based on liquid-phase-filled with ozonated technical carbon rubber SKS-30 ARK	265

Резервы энергоэффективности в технологии гранулированных комбикормов с использованием микроводоросли хлореллы и фуза подсолнечного масла

Лариса И. Лыткина ¹	larissaig2410@rambler.ru	 0000-0001-7857-7756
Александр А. Шевцов ¹	shevalol@rambler.ru	 0000-0001-7963-1646
Олеся П. Проскурина ¹	proskurina-bio@ya.ru	 0000-0001-5745-8301

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

Аннотация. В кормовых рационах животных и птицы должны присутствовать соединения, обладающие биологической активностью, недостаток которых традиционно восполняют добавлением премиксов, основой которых являются синтетические вещества. Способность решить проблему полноценности кормов в значительной степени обладают суспензии микроскопических водорослей, которые являются ценными добавками для сельскохозяйственных животных и птицы, они способствуют лучшему усвоению кормов и увеличивают сопротивляемость организма к заболеваниям, являются хорошим профилактическим средством против авитаминозов, повышают привесы, увеличивают яйценоскость. Анализ современных технологий гранулированных комбикормов с использованием микроводоросли хлореллы и фуза подсолнечного масла позволил выявить неиспользованные резервы энергоэффективности и обеспечить их эффективную реализацию за счет применения абсорбционной водоаммиачной холодильной машины. Показано, что абсорбционная водоаммиачная холодильная машина позволяет радикально снизить эксплуатационные расходы на промышленное охлаждение гранулированного комбикорма за счет использования доступного альтернативного источника энергии, который дешевле затрат на подключение дополнительных электрических мощностей; обеспечивает более полное использование топливно-энергетических ресурсов и повышает экологическую безопасность технологии, полностью исключая выброс отработанных энергоносителей в окружающую среду.

Ключевые слова: гранулированный комбикорм, микроводоросль хлореллы, автотрофный биосинтез, энергоэффективная технология, холодильная установка.

Energy efficiency reserves in granular technology feed using chlorella microalgae and sunflower oil fuza

Larisa I. Lytkina ¹	larissaig2410@rambler.ru	 0000-0001-7857-7756
Alexander A. Shevtsov ¹	shevalol@rambler.ru	 0000-0001-7963-1646
Olesya P. Proskurina ¹	proskurina-bio@ya.ru	 0000-0001-5745-8301

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The feed rations of animals and poultry must contain compounds with biological activity, the deficiency of which is traditionally compensated for by the addition of premixes based on synthetic substances. Suspensions of microscopic algae, which are valuable additives for farm animals and poultry, contribute to better absorption of feed and increase the body's resistance to diseases, are a good prophylactic against vitamin deficiencies, increase weight gain, and increase egg production. Analysis of modern technologies for granulated feed using chlorella microalgae and sunflower oil fuses made it possible to identify untapped energy efficiency reserves and ensure their effective implementation through the use of an ammonia-water absorption refrigeration machine. It has been shown that an ammonia-water absorption refrigeration machine can radically reduce operating costs for industrial cooling of granulated feed through the use of an available alternative energy source, which is cheaper than the cost of connecting additional electrical power; ensures a more complete use of fuel and energy resources and increases the environmental safety of the technology, completely eliminating the release of waste energy into the environment.

Keywords: granulated feed, chlorella microalgae, autotrophic biosynthesis, energy efficient technology, refrigeration unit.

Введение

Кормовые добавки на основе светозависимых микроорганизмов, к которым относится микроводоросль хлореллы, открывают инновационные возможности в создании ресурсосберегающих технологий комбикормов с использованием фотоавтотрофного биосинтеза, расширяющих ассортимент комбикормовой продукции [1–4].

Для цитирования

Лыткина Л.И., Шевцов А.А., Проскурина О.П. Резервы энергоэффективности в технологии гранулированных комбикормов с использованием микроводоросли хлореллы и фуза подсолнечного масла // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 22–30. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-22-30

В большинстве существующих технологий при приготовлении гранулированных комбикормов осуществляют по «сухому способу» с использованием пара. Этот подход неприемлем для производства гранулированных комбикормов с вводом суспензии хлореллы. Высокая температура пара, подаваемого в пресс-гранулятор, не позволяет сохранить биологически активные

For citation

Lytkina L.I., Shevtsov A.A., Proskurina O.P. Energy efficiency reserves in granular technology feed using chlorella microalgae and sunflower oil fuza. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 22–30. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-22-30

соединения, определяющие лечебно-профилактический эффект добавки [5–8].

При влажном способе гранулирования получают более пластичную кормосмесь при добавлении воды до 35%. Однако использование воды в качестве связующего компонента не позволяет обеспечить повышение пищевой, кормовой и биологической ценности комбикорма. В этой связи открываются возможности ввода суспензии микроводоросли хлореллы в качестве связующего компонента при получении кормовых гранул.

Наиболее перспективной с этой точки зрения является технология комбикормов, предусматривающая гранулирование рассыпного комбикорма с вводом суспензии фототрофной биомассы микроводоросли хлореллы и фуза растительных масел [9, 10].

Особенность технологии заключается в наличии участка автотрофного биосинтеза микроводоросли с вводом биомассы в рассыпной комбикорм, фракционировании рассыпного комбикорма на крупную, среднюю и мелкую фракции после гранулирования, сушки и охлаждения. При этом сначала среднюю фракцию покрывают фузом подсолнечного масла, обогащенного антиоксидантами и жирорастворимыми ферментами, а затем на дражированные гранулы наносят мелкую фракцию комбикорма. Стабилизацию температурных режимов на всех стадиях технологии обеспечивает абсорбционная бромисто-литиевая абсорбционная холодильная машина.

Несмотря на очевидные преимущества известной технологии, в ходе ее производственных испытаний на экспериментальном оборудовании были выявлены неиспользованные резервы, реализация которых повысит энергетическую эффективность получения гранулированного комбикорма.

Во-первых, абсорбционная бромисто-литиевая абсорбционная холодильная машина работает в области положительных температур и не может обеспечить подготовку низкопотенциального энергоносителя с температурой ниже 5 °С, что сдерживает скорость охлаждения гранулированного комбикорма после его сушки.

Во-вторых, при снижении температуры воздуха после сушки гранулированного комбикорма до температуры точки «росы», когда содержащаяся в нем влага конденсируется в виде капельной жидкости на поверхности теплообмена, нельзя гарантировать его полное осушение в связи с недостаточно низкой температурой конденсации влаги на охлаждающей поверхности испарителя. Для отделения паров влаги от воздуха с высоким влагосодержанием

потребуется дополнительная установка влагоотделителей, что приведет к увеличению энергозатрат на преодоление аэродинамического сопротивления в линии его рециркуляции.

В-третьих, не предусмотрена тонкая очистка отработанного сушильного агента, что негативно отразится на процессе конденсации влаги из отработанного после сушки воздуха; не рассматривается возможность подключения абсорбционной водоаммиачной холодильной установки в общую схему энергоснабжения способа, обеспечивающей получение низко-температурного энергоносителя с высокой влагопоглощающей способностью, что позволило бы в установившемся режиме обеспечивать высокое качество гранулированного комбикорма при сохранении производительности поточной линии и эффективное охлаждение получаемого комбикорма перед закладкой его на хранение.

И наконец, в-четвертых, в технологии используется система непосредственного прямого охлаждения воздуха в испарителе абсорбционной холодильной машины. По сравнению с системами охлаждения промежуточным хладагентом возникает вероятность проникновения хладагента непосредственно в охлаждаемую среду, то есть в воздух, подаваемый на сушку и на охлаждение гранулированного комбикорма, что приведет к получению некондиционного комбикорма. Сравнение многолетних результатов наблюдения за этими системами в одних и тех же условиях показало снижение энергозатрат в системах с промежуточным охлаждением на 10–15%.

Исходя из вышеизложенного, сформулирована цель работы: повышение энергетической эффективности технологии гранулированных комбикормов с использованием микроводоросли хлореллы и фуза подсолнечного масла.

Организация и формирование энергоэффективной технологий гранулированных комбикормов основаны на принципах энергосбережения, рекуперации и утилизации вторичных энергоресурсов с возвратом низкопотенциальной энергии в тепловые и тепломассообменные процессы [11]. При этом использован балансовый метод распределения энергии в замкнутых термодинамических циклах по материальным и тепловым потокам в сочетании с комплексно-энергетическим подходом, подкрепленным методом эксергетического анализа при оценке термодинамического совершенства технологии, как системы процессов [12].

Схема предлагаемой технологии (рисунок) содержит бункеры для хранения рассыпного комбикорма 1 с роторными питателями; смеситель 2 с форсунками для ввода фототрофной

биомассы; пресс-гранулятор 3; вертикальную колонку 4 с зонами сушки и охлаждения; валковый измельчитель 5; двухситовую просеивающую машину 6; оперативные бункеры 7 и 9 с роторными дозаторами; резервуар со змеевиком для подготовки растопленного фуза растительных масел 8; дражировочную машину непрерывного действия 10 с секционным барабаном; вентилируемый бункер 11; биореактор 12 с охлаждающей рубашкой 13, прозрачными трубками 14, вращающимся валом и установленным на нем роторным нагнетателем 15, коаксиально установленной светодиодной лампой 16, лопастями 17 перемешивающего устройства, барботажной трубкой 18 и импеллерной мешалкой 19 в нижней части корпуса биореактора, внутренняя поверхность которого выполнена светоотражающей; абсорбционную водоаммиачную холодильную установку, включающую кипятильник 20 со змеевиком, ректификатор 21, дефлегматор 22, конденсатор 23, испаритель 24, абсорбер 25 со змеевиком, теплообменник 26, терморегулирующие вентили 27, 28, перекачивающие насосы 29 и 30, парогенератор 31; сборник тосола 32, рекуперативные теплообменники 33, 34, 35; 36; паровой калорифер 37; циклоны 38, 39, 40; фильтры тонкой очистки 41, 42, 43; смесители 44, 45; распределители потоков 46, 47, 48; водоотделитель 49; сборник конденсата 50; вентиляторы 51, 52, 53, 54; насосы 55, 56, 57; материальные и тепловые потоки: 0.1 – рассыпной комбикорм; 0.2 – рассыпной комбикорм, смешанный с суспензией фототрофной биомассой; 0.3 – гранулированный комбикорм; 0.4 – высушенный и охлажденный гранулированный комбикорм; 0.5 – измельченный комбикорм; 0.6 – крупная фракция измельченного комбикорма; 0.7 – средняя фракция измельченного комбикорма; 0.8 – мелкая фракция измельченного комбикорма; 0.9 – эмульсия антиоксидантов и жирорастворимых ферментов; 1.0 – фуз растительных масел; 1.1 – смесь фуза растительного масла с эмульсией антиоксидантов и жирорастворимых ферментов; 1.2 – комбикорма с продуктами дражирования; 1.3 – готовый комбикорм; 1.4 – взвешенные частицы пылевидной фракции комбикорма; 2.0 – исходная суспензия микроводоросли; 3.0 – питательная смесь; 4.0 – суспензия фототрофной биомассы; 5.0 – смесь воздуха с углекислым газом; 6.0 – контуры рециркуляции воздуха; 7.0 – контуры рециркуляции тосола; 8.0 – перегретый пар; 8.1 – высокопотенциальный пар; 8.2 – низкопотенциальный пар; 8.3 – отработанный пар; 8.4 – конденсат; 9.0 – пары

аммиака, 9.1 – жидкий (сконденсированный) аммиак; 9.2 – испаренный аммиак; 9.3 – крепкий водоаммиачный раствор; 9.4 – слабый водоаммиачный раствор; 9.5 – контур рециркуляции оборотной воды.

Рассыпной комбикорм из бункеров 1 с роторным питателем по потоку 0.1 подают в смеситель 2 и смешивают с суспензией фототрофной биомассы микроводорослей, которую вводят в смеситель с помощью форсунок по линии 4,0. Насыщенный фототрофной биомассой рассыпной комбикорм после смесителя 2 по потоку 0.2 направляют в рекуперативный теплообменник 33 с отработанным после сушки воздухом, доводят температуру полученной смеси до 70–75 °С и получают влажные гранулы по технологии влажного гранулирования с влажностью 30–35%.

Влажные гранулы из пресс-гранулятора подаются сначала в зону сушки вертикальной колонки 4 и высушиваются до влажности 12–14% нагретым воздухом с температурой 100–110 °С; а затем охлаждаются в зоне охлаждения воздухом с температурой 0–5 °С до температуры, не превышающей температуру окружающей среды более, чем на 10 °С.

Высушенный гранулированный комбикорм подается в валковый измельчитель 5 и после измельчения в двухситовую просеивающую машину 6, в которой осуществляется фракционирование с получением крупной, средней и мелкой фракций. Крупная фракция возвращается в валковый измельчитель 5 на доизмельчение, средняя и мелкая фракции соответственно направляются в оперативные бункеры 7 и 9.

Средняя и мелкая фракции, а также, нагретая до температуры 60–70 °С, смесь фуза растительного масла с эмульсией антиоксидантов и жирорастворимых ферментов из резервуара 8 подаются в секционный барабан дражировочной машины 10.

Подсолнечный фуз является источником витаминов, белков, жиров, фосфора и других полезных веществ. Использование его в качестве добавки к кормам позволяет значительно улучшить рост молодняка, а также повысить продуктивность животных [13, 14].

В каждой из секций вращающегося барабана дражировочной машины при движении гранул осуществляется технологическая операция. Сначала среднюю фракцию с помощью форсунок покрывают фузом подсолнечного масла, обогащенного антиоксидантами и жирорастворимыми ферментами, а затем на дражированные гранулы наносят мелкую фракцию комбикорма.

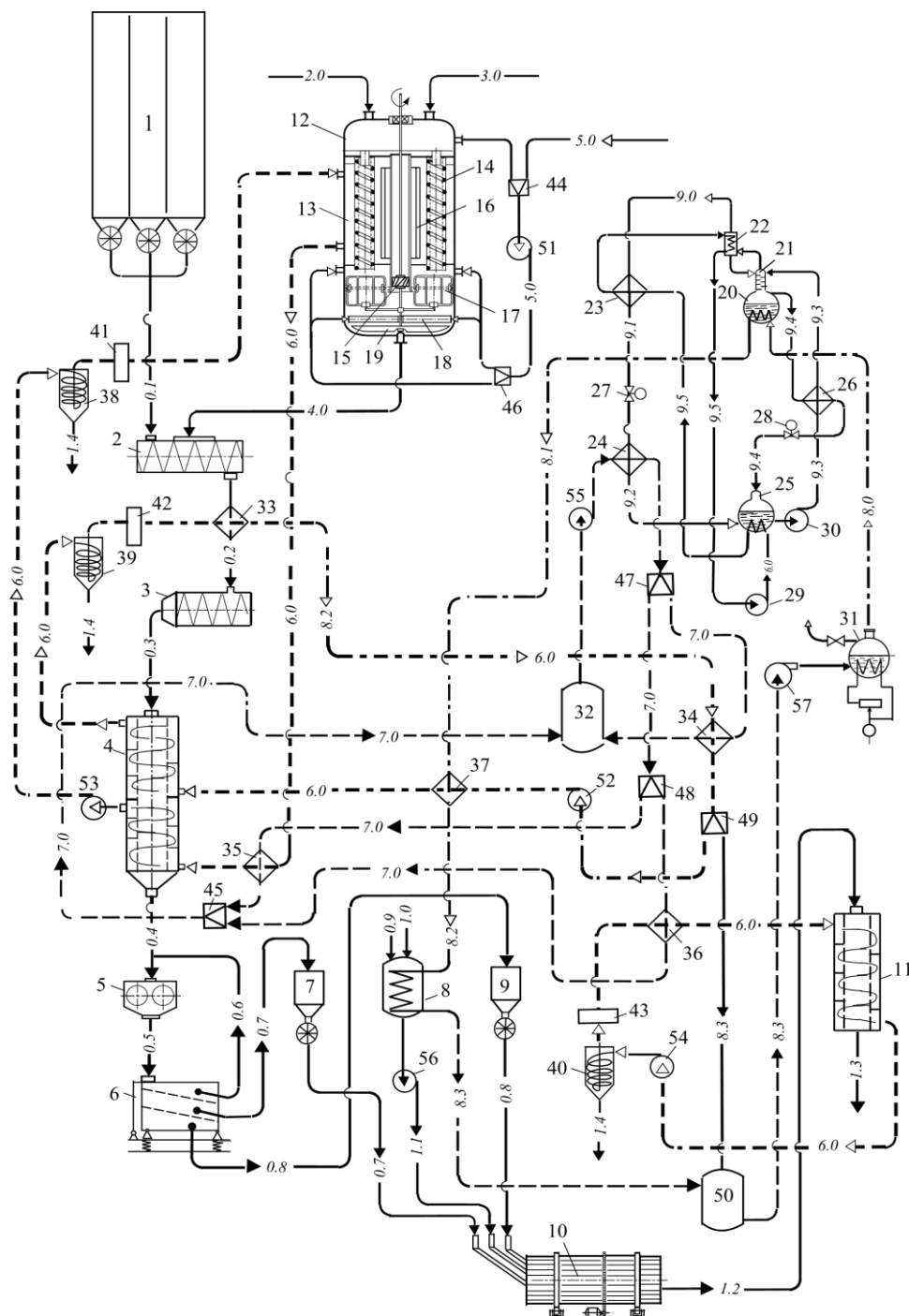


Рисунок 1. Функциональная технологическая схема гранулированных комбикормов с использованием микроводоросли хлореллы и фуза подсолнечного масла

Figure 1. Functional technological scheme of granulated mixed fodders with the use of *Chlorella* microalgae and sunflower oil fuse

Фуз подсолнечного масла подогревается до температуры 70–75 °С в обогреваемом резервуаре 8 со змеевиком и получается растопленный фуз за счет рекуперативного теплообмена с низкотенциальным паром, поступающим из парового калорифера 37 в змеевик резервуара 8. При этом в резервуар 8 непрерывно подается эмульсия антиоксидантов и жирорастворимых ферментов, а также фуз подсолнечного масла.

Полученные в дражировочной машине гранулы охлаждаются в вентилируемом бункере 11 охлажденным воздухом до температуры, не превышающей температуру окружающей среды более, чем на 10 °С и отводятся в качестве готового комбикорма.

Подготовка суспензии фототрофной биомассы микроводоросли осуществляется в биореакторе 12 с внутренним светоотражающим

покрытием, охлаждающей рубашкой 13, с прозрачными трубками 14, валом с роторным нагнетателем 15, коаксиально установленной светодиодной лампой 16, лопастями 17 перемешивающего устройства, барботажной трубкой 18 и импеллерной мешалкой 19 [15, 16].

Исходная суспензия микроводоросли подается в биореактор 12, которая в виде жидкостной пленки стекает по внутренней поверхности прозрачных цилиндрических трубок 14.

Биореактор работает по принципу непрерывной проточной ферментации с подачей питательной среды Тамия в режиме хемостата. При этом поддерживается постоянная концентрация компонентов среды, причем постоянный подвод клеток не обязателен, поскольку в начальном периоде проводится периодическое культивирование, а затем включается подача жидкости с клетками или без них [10, 15 – 17].

Подача смеси углекислого газа с воздухом в фотобиореактор вместе с непрореагировавшей газовой смесью осуществляется вентилятором 51 через патрубки барботажного устройства 18, которое обеспечивает дополнительное насыщение жидкости углекислым газом и равномерное распределение потока газовой смеси в прозрачных трубках 14.

Расходы углекислого газа и воздуха устанавливались по показаниям манометров на газовом редукторе и компрессоре по эмпирической формуле:

$$P = (V_{\text{расх}} / 0,78 d^2)^2, \quad (1)$$

где P – давление, Па; $V_{\text{расх}}$ – объемный расход газа, м³/с; d – внутренний диаметр трубопровода, м; ρ – плотность газа, кг/м³.

Предельная скорость движения газовой смеси v_3 в противоточном режиме с истечением суспензии задавалась из условия [10, 18]:

$$\lg \left(\frac{v_3^2 \cdot \rho_r}{g \cdot d_s \cdot \rho_c} \cdot \mu_c^{0,16} \right) = B - 1,75 \left(\frac{L}{G} \right)^{1/4} \left(\frac{\rho_r}{\rho_c} \right)^{1/8}, \quad (2)$$

где d_s – эквивалентный диаметр пленки, м; μ_c – вязкость суспензии, сП; g – ускорение силы тяжести, м/с²; $\rho_{r,c}$ – плотность газовой смеси и суспензии, соответственно, кг/м³; $B = 0,47 + 1,5 \lg(d_s / 0,25)$; G, L – расход газовой смеси и суспензии соответственно, кг/с.

Величина поверхностной освещенности светоприемной зоны (прозрачных трубок) фотобиореактора рассчитывается по методике [10, 19].

Планетарное вращение лопастей 17 относительно вала 15 создает дополнительную турбулизацию среды, обеспечивает выравнивание профиля концентраций клеток фототрофной биомассы, предотвращает появление застойных зон,

преждевременное осаждение клеток культуры на дно аппарата и повышает продуктивность выращивания культуры автотрофных микроорганизмов.

Суспензия автотрофного микроорганизма подвергается равномерному воздействию световой энергии посредством коаксиально установленной светодиодной лампы 16 и отражению света от внутренней светоотражающей поверхности биореактора 12.

В процессе освещения светодиодной лампой выделяется теплота, которую компенсируют подачей отработанного охлаждающего воздуха через циклон 38 и фильтр тонкой очистки 41 в охлаждающую рубашку 13 биореактора.

На выходе из прозрачных цилиндрических трубок 14 насыщенная углекислым газом суспензия автотрофной биомассы дополнительно насыщается газовой смесью с помощью барботажных трубок 18, при этом повышается суммарный коэффициент массообмена и тем самым интенсифицируется процесс культивирования.

Импеллерная мешалка 19, закрепленная к валу в нижней части корпуса биореактора 12, обеспечивает полноценную циркуляцию суспензии автотрофной биомассы в нижней части биореактора как в горизонтальной, так и вертикальной плоскости, затрачивая минимум механической энергии.

Готовая суспензия фототрофной биомассы выводится из биореактора в смеситель 2.

Для получения низкопотенциальной энергии используется абсорбционная водоаммиачная холодильная установка, включающая кипятильник 20 с ректификатором 21, змеевик и дефлегматор 22; конденсатор 23; испаритель 24, абсорбер 25; теплообменник 26; терморегулирующие вентили 27, 28, рециркуляционные насосы 29, 30 [20].

Полученный в парогенераторе 31 перегретый пар используется как источник энергии для функционирования абсорбционной водоаммиачной холодильной установки.

Из парогенератора 31 перегретый пар направляется в змеевик кипятильника 20, в котором происходит испарение водоаммиачного раствора при температуре 130–140 °С. Смесь образовавшихся паров воды и аммиака проходит через насадки ректификатора 21, орошается крепким водоаммиачным раствором с массовой концентрацией аммиака в бидистиллированной воде не менее 35%, подаваемым в кипятильник 20 перекачивающим насосом 30 из абсорбера 25 через рекуперативный теплообменник 26. Часть воды увлекается стекающим раствором по насадкам ректификатора 21. При этом концентрация аммиачного пара возрастает.

Концентрированные аммиачные пары отводятся в дефлегматор 22, остатки воды конденсируются и стекают по насадкам ректификатора 21 в кипятильник 20.

Осушенный аммиачный пар из дефлегматора 22 направляется в конденсатор 23 и конденсируется при температуре 50 °С, после чего поток жидкого аммиака дросселируется в терморегулирующем вентиле 27 до давления 0,29 МПа и температуры минус 10 °С, с которой он кипит в испарителе 24.

Испаренный аммиак из испарителя 24 поступает в абсорбер 25, орошаемый слабым водоаммиачным раствором с массовой концентрацией аммиака в бидистиллированной воде не более 5% при температуре 35 °С, отводимым из кипятильника 20 через теплообменник 26 и терморегулирующий вентиль 28. Поглощение в абсорбере 25 сопровождается выделением тепла, которое передается протекающей через змеевик абсорбера 25 оборотной воде.

Образовавшийся крепкий водоаммиачный раствор в абсорбере 25 рециркуляционным насосом 30 направляется в кипятильник 20 через теплообменник 26. В теплообменнике 26 происходит предварительный нагрев крепкого водоаммиачного раствора, что приводит к охлаждению слабого водоаммиачного раствора, обеспечивая повышение его абсорбирующей способности и экономию тепловой энергии.

Рециркуляция оборотной воды через абсорбер 25, конденсатор 23 и дефлегматор 22 с помощью рециркуляционного насоса 29 позволяет повысить энергетическую эффективность процессов конденсации паров воды в дефлегматоре 22 и паров аммиака в конденсаторе 23 и обеспечить отвод теплоты абсорбции из абсорбера 25.

Высокопотенциальный пар после кипятильника 20 с температурой 115–120 °С направляется в паровой калорифер 37 для нагревания воздуха, подаваемого вентилятором 52 в зону сушки вертикальной колонки 4.

Низкопотенциальный пар после парового калорифера 37 подается в змеевик резервуара 8 для подготовки растопленного фуза, обогащенного антиоксидантами и жирорастворимыми ферментами. Образовавшийся конденсат после резервуара 8 отводится в сборник конденсата 50.

Для подготовки охлажденного воздуха в качестве промежуточного хладагента используется тосол. Охлаждение тосола до температуры минус 5–7 °С осуществляется посредством рекуперативного теплообмена с кипящим в испарителе 24 аммиаком. После испарителя

24 один поток тосола через распределитель 47 подается в рекуперативный теплообменник 34, в котором посредством теплообмена конденсируют влагу из отработанного после сушки воздуха и возвращают в сборник тосола 32. Второй поток тосола после распределителя 47 через распределитель 48 направляется в рекуперативные теплообменники 35 и 36 для охлаждения воздуха, подаваемого в зону охлаждения гранулированного комбикорма в вертикальной колонке 4 и на охлаждение готового комбикорма в вентилируемый бункер 11.

Сконденсированная влага через водоотделитель 49 отводится в сборник конденсата 50. Отработанный тосол отводится в сборник тосола 32 и насосом 55 подается в испаритель 24 с образованием контура рециркуляции.

Тосол не выводится из контура рециркуляции, при этом отсутствует необходимость в периодическом анализе воздуха на присутствие в нем тосола.

Осушенный в рекуперативном теплообменнике воздух до влагосодержания 0,005–0,009 кг/кг вентилятором 52 направляется сначала в паровой калорифер 37 и нагревается до температуры 100–110 °С, а затем в зону сушки вертикальной колонки 4. Отработанный после сушки воздух через циклон 39 и фильтр тонкой очистки 42 сначала направляют в рекуперативный теплообменник 33, в котором нагревают рассыпной комбикорм, смешанный с суспензией фототрофной биомассы перед пресс-гранулятором 3, а затем подают в рекуперативный теплообменник 34 и термодинамический цикл повторяют.

Отработанный воздух после секции охлаждения вертикальной колонки 4 вентилятором 53 через циклон 38 и фильтр тонкой очистки 41 подают в охлаждающую рубашку 13 биореактора 12 на компенсацию тепловой энергии, излучаемой светодиодной лампой 16, и возвращают в рекуперативный теплообменник 35 с образованием контура рециркуляции.

Воздух для охлаждения готового комбикорма вентилятором 54 через циклон 40 и фильтр тонкой очистки 43 охлаждают в рекуперативном теплообменнике 36 и подают в вентилируемый бункер 11 с возвратом в циклон 40.

Предлагаемая технология гранулированных комбикормов и установка для его осуществления прошли производственную проверку на экспериментальном оборудовании в производственных условиях НПЦ ВНИИ Комбикормовой промышленности (г. Воронеж) во всем интервале варьируемых параметров (таблица 1).

Параметры процесса

Table 1.

Process parameters

Параметр Parameter	Значение параметра Value			
	По технологии (Пат. РФ 2411885) Patent	По предлагаемой технологии Technology		
		Режим 1 Regime 1	Режим 2 Regime 2	Режим 3 Regime 3
Температура культивирования автотрофной биомассы микроводоросли хлореллы, °C Temperature of cultivation of autotrophic biomass of Chlorella microalgae, °C	20–25	25,0	28,0	32,0
Концентрация углекислого газа в воздухе в процессе культивирования, % Concentration of carbon dioxide in the air during cultivation, %	1,5–3,0	1,5	1,75	3,0
Освещенность светодиодной лампы, клк Illumination of LED lamp, klk	11,3...28,3	11,3	18,0	28,3
Содержание сухого вещества в готовой фототрофной биомассе, % Dry matter content in finished phototrophic biomass, %	0,04–0,06	0,06	0,55	0,04
Расход газовоздушной смеси в биореакторе, м³/ч Gas-air mixture flow rate in bioreactor, m³/h	3,0	3,0	3,5	4,0
Влажность гранул после пресс-гранулятора, % Granule humidity after the press-granulator, %	17–19	30	32	35
Температура гранулирования, °C Pelletising temperature, °C	60–70	75	77	80
Температура воздуха, подаваемого на сушку, °C Temperature of air supplied for drying, °C	80	100	105	110
Влагосодержание воздуха, подаваемого на сушку, кг/кг Moisture content of air supplied for drying, kg/kg	0,005–0,009	0,005	0,007	0,009
Температура воздуха, подаваемого на охлаждение гранулированного комбикорма, °C Temperature of air supplied for cooling of granulated mixed fodder, °C	0–5	0	3	5
Влажность гранул после сушки и охлаждения, % Humidity of granules after drying and cooling, %	12–14	12	13	14
Температура перегретого пара, подаваемого в кипятильник абсорбционной холодильной установки, °C Temperature of superheated steam supplied to the boilers of the absorption refrigeration unit, °C	бромисто-литиевая lithium bromide	водоаммиачная water-ammonia		
	140–150	130	135	140
Температура перегретого пара, подаваемого в кипятильник абсорбционной холодильной установки, °C Temperature of superheated steam supplied to the boilers of the absorption refrigeration unit, °C	140–150	120	125	130
Температура отработанного воздуха после сушки, °C Temperature of exhaust air after drying, °C	-	80	85	90
Температура отработанного пара, подаваемого на нагревание подсолнечного фуза, °C Temperature of exhaust steam supplied for heating of sunflower fuse, °C	-	90	95	105
Температура нагрева подсолнечного фуза в обогреваемом резервуаре, °C Sunflower fuse heating temperature in the heated tank, °C	60–70	70	72	75
Температура охлажденного воздуха, подаваемого в вентилируемый бункер, °C Temperature of cooled air supplied to the ventilated bunker, °C	7,0	5,0	8,5	10
Удельные энергозатраты, кДж/кг Specific energy consumption, kJ/kg	24480	23256	23011	22766

В качестве примера использован рецепт гранулированного комбикорма по ГОСТ 32897–2014 для пушных зверей, кроликов и нутрий. Отпускная цена полнорационного корма для пушных зверей (кроликов и нутрий) по состоянию на май 2023 г. в среднем составляет 100 руб./кг.

Закключение

Предлагаемая технология гранулированных комбикормов имеет следующие преимущества:

– функционирование абсорбционной водо-аммиачной холодильной установки осуществляется от рекуперации теплоты перегретого пара, подаваемого в кипятильник, благодаря чему достигается экономия электроэнергии, которая расходуется только на работу органов управления и насосов в контурах рециркуляции аммиака и оборотной воды;

– использование промежуточного хладагента, в качестве которого используется тосол, позволит обеспечить простоту регулирования температуры охлаждаемой среды, в частности воздуха, подаваемого на охлаждение комбикорма и на конденсацию влаги из отработанного воздуха после сушки.

– абсорбционная холодильная машина позволяет радикально снизить эксплуатационные расходы на промышленное охлаждение гранулированного комбикорма за счет использования доступного альтернативного источника энергии, который дешевле затрат на подключение и использование дополнительных электрических мощностей;

– обеспечивает более полное использование топливно-энергетических ресурсов и повышает экологическую безопасность способа за счет организации дополнительных замкнутых рециркуляционных схем по материальным и энергетическим потокам, полностью исключающих выброс отработанных энергоносителей в окружающую среду;

– как правило, монтаж абсорбционных водоаммиачных холодильных установок осуществляют вне помещений на многоярусной металлической или железобетонной «этажерке», что исключает возможное негативное воздействие на обслуживающий персонал при аварийной утечке аммиака;

– обеспечивает снижение удельных энергозатрат на 5–7%.

Литература

- 1 Мещерякова Ю.В. Культивирование микроводорослей хлореллы // Наука в центральной России. 2013. № 2. С. 56–60.
- 2 Третьяков Е.А., Механикова М.В., Кулакова Т.С. Применение суспензии хлореллы в питании ремонтных телок // Молодой ученый. 2016. № 6-5. С. 102-105. URL: <https://moluch.ru/archive/110/27466>
- 3 Torres-Tijji Y., Fields F.J., Mayfield S.P. Microalgae as a future food source // Biotechnology advances. 2020. V. 41. P. 107536. doi: 10.1016/j.biotechadv.2020.107536
- 4 Коноваленко Л.Ю., Мишуров Н.П., Пономарев С.В., Федоровых Ю.В. Технологии производства кормов для аквакультуры. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 80 с.
- 5 Егоров Б. и др. Разработка усовершенствованной технологии гранулирования комбикормов // Пищевая наука и технология. 2019. Т. 13. № 2. С. 118–127.
- 6 Неменуцкая Л.А. Перспективные направления технологического оснащения производства комбикормов // Техника и оборудование для села. 2021. № 5. С. 25-29.
- 7 Шенцова Е.С., Курчаева Е.Е., Востроилов А.В., Есаулова Л.А. Оптимизация процесса гранулирования комбикормов для молодняка кроликов и оценка их эффективности // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 3. С. 176–184. doi: 10.20914/2310-1202-2018-3-176-184
- 8 Пат. № 2736134, RU, A23K 50/40, A23N 17/00. Технологическая линия производства комбикормов нового поколения для пушных зверей / Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Желтоухова Е.Ю., Богомолов И.С., Филиппов П.В.; заявитель и патентообладатель АО "НПЦ "ВНИИКП". № 2020101247; Заявл. 2020.01.10; Опубл. 2020.11.11, Бюл. № 32.
- 9 Шенцова Е.С., Дранников А.В., Пономарев А.В., Ситников Н.Ю. Реализация прикладных задач автотрофного биосинтеза в технологии комбикормов // Вестник ВГТА. 2010. № 3. С. 19–22.
- 10 Yan C., Zhang Q., Xue S., Sun Z. et al. A novel low-cost thin-film flat plate photobioreactor for microalgae cultivation // Biotechnology and Bioengineering. 2016. V. 21. P. 103-109. doi: 10.1007/s12257-015-0327-2
- 11 Пат. № 2810055, RU, A23K 40/10, A23N 17/00. Способ производства гранулированных комбикормов и установка для его осуществления / Лыткина Л.И., Шевцов А.А., Проскурина О.П. № 2023120013; Заявл. 30.07.2023; Опубл. 21.12.2023, Бюл. № 36.
- 12 Dogaris I., Welch M., Meiser A., Walmsley L. et al. A novel horizontal photobioreactor for high-density cultivation of microalgae // Bioresource Technology. 2015. V. 198. P. 316-324.
- 13 Шевцов А.А., Лыткина Л.И., Пономарев, Д.С. Хорхордин Исследование химического состава подсолнечного фуза // Хранение и переработка сельхозсырья. 2009. № 4. С. 78–80.
- 14 Левахин Ю.И., Нуржанов Б.С., Рязанов В.А. Химический состав фуза подсолнечного, приготовленного по разной технологии, и мясная продуктивность откармливаемых бычков // Вестник мясного скотоводства. 2015. № 4(92). С. 105–109.
- 15 Гайсина Л.А., Фазлутдинова А.И., Кабиров Р.Р. Современные методы выделения и культивирования водорослей. 2020. URL: <https://clck.ru/Qk3av>
- 16 Шевцов А.А., Лыткина Л.И., Антипов С.Т., Остриков А.Н. и др. Математическое моделирование процесса культивирования светозависимых микроорганизмов в пленочном аппарате с противоточным движением фаз // Теоретические основы химической технологии. 2016. Т. 50. № 3. С. 335–342.
- 17 Sun Z., Sun L., Chen G. Microalgal cultivation and nutrient removal from digested piggery wastewater in a thin-film flat plate photobioreactor // Applied biochemistry and biotechnology. 2019. V. 187. P. 1488-1501. doi: 10.1007/s12010-018-2889-x
- 18 Coronado-Reyes J.A., Salazar-Torres J.A., Juárez-Campos B., Gonzalez-Hernandez J.C. et al. Chlorella vulgaris, a microalgae important to be used in Biotechnology: a review // Food Science and Technology. 2020. V. 42. P. e37320.
- 19 Кругликова Л.Л., Савинова Д.М. Влияние фотометрических характеристик источника излучения на эффективность выращивания микроводоросли Chlorella vulgaris // Современные техника и технологии: сборник трудов XX международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 14-18 апреля 2014 г. Томск: Изд-во ТПУ, 2014. Т. 1. С. 135-136.
- 20 Леонов В.П. Абсорбционные холодильные машины. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020. 74 с.

References

- 1 Meshcheryakova Yu.V. Cultivation of microalgae Chlorella. Science in Central Russia. 2013. no. 2. pp. 56–60. (in Russian).
- 2 Tretyakov E.A., Mekhanikova M.V., Kulakova T.S. The use of chlorella suspension in the nutrition of replacement heifers. Young scientist. 2016. no. 6-5. pp. 102-105. Available at: <https://moluch.ru/archive/110/27466> (in Russian).
- 3 Torres-Tijji Y., Fields F.J., Mayfield S.P. Microalgae as a future food source. Biotechnology advances. 2020. vol. 41. pp. 107536. doi: 10.1016/j.biotechadv.2020.107536
- 4 Konovalenko L.Yu., Mishurov N.P., Ponomarev S.V., Fedorovykh Yu.V. Technologies for the production of feed for aquaculture. M., FGBNU "Rosinformagrotekh", 2020. 80 p. (in Russian).

- 5 Egorov B. et al. Development of improved technology for pelleting mixed feed. *Food Science and Technology*. 2019. vol. 13. no. 2. pp. 118–127. (in Russian).
- 6 Nemenuchaya L.A. Promising directions of technological equipment for the production of mixed feed. *Equipment and equipment for rural areas*. 2021. no. 5. pp. 25–29. (in Russian).
- 7 Shentsova E.S., Kurchaeva E.E., Vostroilov A.V., Esaulova L.A. Optimization of the process of granulation of feed for young rabbits and assessment of their effectiveness. *Proceedings of VSUET*. 2018. vol. 80. no. 3. pp. 176–184. doi: 10.20914/2310-1202-2018-3-176-184 (in Russian).
- 8 Afanasyev V.A., Ostrikov A.N., Zheltoukhova E.Yu., Bogomolov I.S., Filiptsov P.V. Technological line for the production of new generation compound feed for fur animals. Patent RF, no. 2736134, 2020.
- 9 Shentsova E.S., Drannikov A.V., Ponomarev A.V., Sitnikov N.Yu. Implementation of applied tasks of autotrophic biosynthesis in feed technology. *Vestnik VGTA*. 2010. no. 3. pp. 19–22. (in Russian).
- 10 Yan C., Zhang Q., Xue S., Sun Z. et al. A novel low-cost thin-film flat plate photobioreactor for microalgae cultivation. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*. 2016. vol. 21. pp. 103–109. doi: 10.1007/s12257-015-0327-2
- 11 Lytkina L.I., Shevtsov A.A., Proskurina O.P. Method for the production of granulated feed and installation for its implementation. Patent RF, no. 2810055, 2023.
- 12 Dogaris I., Welch M., Meiser A., Walmsley L. et al. A novel horizontal photobioreactor for high-density cultivation of microalgae. *Bioresource Technology*. 2015. vol. 198. pp. 316–324.
- 13 Shevtsov A.A., L.I. Lytkina, A.V. Ponomarev, D.S. Khorkhordin Study of the chemical composition of sunflower liquor. Storage and processing of agricultural raw materials. 2009. no. 4. pp. 78–80. (in Russian).
- 14 Levakhin Yu.I., Nurzhanov B.S., Ryazanov V.A. Chemical composition of sunflower milk prepared using different technologies, and meat productivity of fattened bulls. *Bulletin of beef cattle breeding*. 2015. no. 4(92). pp. 105–109. (in Russian).
- 15 Gaisina L.A., Fazlutdinova A.I., Kabirov R.R. Modern methods for isolating and cultivating algae. 2020. Available at: <https://clck.ru/Qk3av> (in Russian).
- 16 Shevtsov A.A., Lytkina L.I., Antipov S.T., Ostrikov A.N. et al. Mathematical modeling of the process of cultivating light-dependent microorganisms in a film apparatus with countercurrent movement of phases. *Theoretical foundations of chemical technology*. 2016. vol. 50. no. 3. pp. 335–342. (in Russian).
- 17 Sun Z., Sun L., Chen G. Microalgal cultivation and nutrient removal from digested piggery wastewater in a thin-film flat plate photobioreactor. *Applied biochemistry and biotechnology*. 2019. vol. 187. pp. 1488–1501. doi: 10.1007/s12010-018-2889-x
- 18 Coronado-Reyes J.A., Salazar-Torres J.A., Juárez-Campos B., Gonzalez-Hernandez J.C. et al. *Chlorella vulgaris*, a microalgae important to be used in Biotechnology: a review. *Food Science and Technology*. 2020. vol. 42. pp. e37320.
- 19 Kruglikova L.L., Savinova D.M. The influence of photometric characteristics of the radiation source on the efficiency of growing microalgae *Chlorella vulgaris*. Modern equipment and technologies: collection of proceedings of the XX International Scientific and Practical Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists, Tomsk, April 14–18, 2014. Tomsk, TPU Publishing House, 2014. vol. 1. pp. 135–136. (in Russian).
- 20 Leonov V.P. Absorption refrigeration machines. Moscow, Publishing house of MSTU im. N.E. Bauman, 2020. 74 p. (in Russian).

Сведения об авторах

Лариса И. Лыткина д.т.н., доцент, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, larissaig2410@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7857-7756>

Александр А. Шевцов д.т.н., профессор, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, shevalol@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7963-1646>

Олеся П. Проскурина к.т.н., доцент, кафедра биотехнологии и биохимии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, proskurina-bio@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5745-8301>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Larisa I. Lytkina Dr. Sci. (Engin.), professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, larissaig2410@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7857-7756>

Alexander A. Shevtsov Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of fats, processes and apparatuses of chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, shevalol@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7963-1646>

Olesya P. Proskurina Cand. Sci. (Engin.), associate professor, biotechnology and biochemistry department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, proskurina-bio@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5745-8301>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 26/01/2024	После редакции 12/02/2024	Принята в печать 01/03/2024
Received 26/01/2024	Accepted in revised 12/02/2024	Accepted 01/03/2024

Механизмы передачи теплоты в градирнях (теория и методы расчёта)

Юлиан И. Шишацкий	¹		
Сергей А. Никель	¹	sergei.nickel@ya.ru	 0000-0001-9043-9452
Сергей А. Толстов	²	serezha.tolstoff@ya.ru	 0000-0002-2528-0905
Игорь А. Авцинов	¹	igor.awtzinov@ya.ru	 0000-0002-2528-0905
Анна А. Дерканосова	¹	aa-derk@ya.ru	 0000-0002-9726-9262
Александр Е. Емельянов	¹	emalexeg@yandex.ru	 0000-0002-5639-602X

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

² Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия

Аннотация. Градири – высокоинтенсивные смесительные теплообменные аппараты. В них теплообмен происходит при непосредственном контакте (соприкосновении) теплоносителей, то есть в теплообменниках отсутствует термическое сопротивление стенки. При охлаждении оборотной воды воздухом часть теплоты передается за счет поверхностного испарения воды – превращения воды в пар с последующим переносом пара путем диффузии в поток воздуха. Другая часть – за счет разницы в температурах между водой и воздухом, то есть теплопередачей соприкосновением (теплопроводность и конвекция). Теплопередача при непосредственном контакте воздуха и вводы всегда сопровождается процессом переноса массы из одной фазы в другую. Это типичный процесс сопряженного тепло-массопереноса. В нашем случае под испарением подразумевается процесс перехода воды из жидкого состояния в парообразное при температуре меньшей, чем температура кипения воды при заданном давлении. Поскольку в процессе испарения вода охлаждается, то источником энергии является сама вода. Имеет место процесс адиабатного испарения, при этом вода охлаждается до температуры мокрого термометра. В градирне всегда имеет место испарение. Установлено, что отвод теплоты испарением преобладает над теплоотдачей соприкосновением. Записано уравнение теплового баланса, позволяющее определить расход воздуха на охлаждение воды. Приведено уравнение для расчета температуры мокрого термометра. Приведен метод расчета средней разности энтальпий воздуха в градирне. Аэродинамический расчет вентиляторных градирен заключается в установлении соответствия полного аэродинамического сопротивления градирни напору, развиваемому вентилятором. Полное аэродинамическое сопротивление представляет собой сумму сопротивлений ее элементов. Записаны формулы для расчета коэффициентов сопротивлений. Рассмотрены потери воды вследствие испарения, уноса в виде капель, на фильтрацию, продувку.

Ключевые слова: градирня, теплота, расчеты, потери воды, аэродинамический расчет.

Heat transfer mechanisms in cooling towers (theory and calculation methods)

Yulian I. Shishatskii	¹		
Sergei A. Nickel	¹	sergei.nickel@ya.ru	 0000-0001-9043-9452
Sergey A. Tolstov	²	serezha.tolstoff@ya.ru	 0000-0002-2528-0905
Igor' A. Avcinov	¹	igor.awtzinov@ya.ru	 0000-0002-2528-0905
Anna A. Derkanosova	¹	aa-derk@ya.ru	 0000-0002-9726-9262
Aleksandr E. Emelyanov	¹	emalexeg@yandex.ru	 0000-0002-5639-602X

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

² Voronezh State Forestry University, Starykh Bolshevikov, st. Timiryazeva, 8, Voronezh, 394087, Russia

Abstract. Cooling towers are high-intensity mixing heat exchangers. In them, heat exchange occurs at direct contact (contact) of heat carriers, i.e. in heat exchangers there is no thermal resistance of the wall. When circulating water is cooled by air, part of the heat is transferred due to surface evaporation of water - transformation of water into vapor with subsequent transfer of vapor by diffusion into the air stream. The other part is due to the temperature difference between water and air, i.e. heat transfer by contact (conduction and convection). Heat transfer by direct contact between air and inlet is always accompanied by a process of mass transfer from one phase to the other. This is a typical process of conjugate heat and mass transfer. In our case, evaporation refers to the process of water transition from liquid to vapor state at a temperature lower than the boiling point of water at a given pressure. Since water is cooled in the process of evaporation, the source of energy is water itself. Adiabatic evaporation takes place and the water is cooled to the wet-bulb temperature. Evaporation always takes place in a cooling tower. It is found that heat transfer by evaporation dominates over heat transfer by contact. A heat balance equation is written to determine the air flow rate for cooling water. An equation for calculating the temperature of a wet thermometer is given. A method for calculating the average enthalpy difference of air in a cooling tower is given. The aerodynamic calculation of fan cooling towers is to determine whether the total aerodynamic drag of the cooling tower corresponds to the head developed by the fan. The total aerodynamic resistance is the sum of the resistances of its elements. Formulas for calculating the drag coefficients are written. Water losses due to evaporation, droplet entrainment, filtration, and blowdown are considered.

Keywords: cooling tower, heat, calculations, water loss, aerodynamic calculation.

Для цитирования

Шишацкий Ю.И., Никель С.А., Толстов С.А., Авцинов И.А., Дерканосова А.А., Емельянов А.Е. Механизмы передачи теплоты в градирнях (теория и методы расчёта) // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 31–37. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-31-37

For citation

Shishatskii Yu.I., Nickel S.A., Tolstov S.A., Avcinov I.A., Derkanosova A.A., Emelyanov A.E. Heat transfer mechanisms in cooling towers (theory and calculation methods). Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 31–37. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-31-37

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Градири – смесительные теплообменники – являются высокоинтенсивными аппаратами, так как в них теплообмен происходит при непосредственном контакте (соприкосновении) теплоносителей, то есть в смесительных теплообменниках отсутствует термическое сопротивление стенки.

При охлаждении оборотной воды воздухом часть теплоты передается за счет поверхностного испарения воды – превращения воды в пар с последующим переносом пара путем диффузии в поток воздуха. Другая часть – за счет разницы в температурах между водой и воздухом, то есть теплопередачей соприкосновением (теплопроводность и конвекция) [1, 2].

Теплопередача при непосредственном контакте воздуха и вводы всегда сопровождается процессом переноса массы из одной фазы в другую. Это процесс сопряженного тепло-массопереноса [5, 8, 9].

В нашем случае под испарением подразумевается процесс перехода воды из жидкого состояния в парообразное при температуре меньшей, чем температура кипения воды при заданном давлении.

В соответствии с кинетической теорией газов, механизм процесса испарения воды с поверхности соприкосновения ее с воздухом можно трактовать следующим образом [4, 11]. Молекулы воды находятся в хаотическом (вращательном, колебательном и поступательном) тепловом движении, а их скорости отклоняются в широких пределах от среднего значения. Молекулы, обладающие большой кинетической энергией, вылетают в пространство, расположенное над поверхностью воды, преодолевая силы молекулярного сцепления. Эти молекулы при столкновении с молекулами воздуха изменяют величину и направление своего движения. Часть молекул воды возвращается обратно в воду. Другая часть молекул удаляется от поверхности воды, проникает в воздух в результате диффузии и конвекции и уже безвозвратно теряется водой, образуя водяной пар в воздухе.

В непосредственной близости к поверхности воды воздушная фаза насыщена паром и при этом парциальное давление p_n равно давлению насыщенного пара P_n при температуре жидкости. Поскольку в рассматриваемом случае $p_n < P_n$, то возникает поток вещества из жидкости в воздушную фазу. Переносимая потоком энергия запишется как $q_n r$, где r – энтальпия испарения.

Поскольку в процессе испарения вода охлаждается, то источником энергии $q_n r$ является сама вода. В нашем случае испарение происходит за счет переноса теплоты от воздуха к воде и ее охлаждения (процесс адиабатного испарения).

При адиабатном испарении вода охлаждения до температуры мокрого термометра $t_{м.т.}$ – наименьшей температуры воды, испаряющейся в движущуюся над ней парогазовую смесь.

Значение $t_{м.т.}$ определяется равенством потоков теплоты, передаваемой воздухом воде за счет конвекции $[\alpha(t_b - t_{м.т.})]$ и переносимой из жидкой фазы в воздушную вследствие испарения ($q_n r$):

$$\alpha(t_b - t_{м.т.}) = q_n r, \quad (1)$$

где t_b – температура воздуха, α – коэффициент теплоотдачи.

Основываясь на кинетических закономерностях массопереноса, определяется величина $q_n r$. Из уравнения (1) следует:

$$\alpha = q_n r / (t_b - t_{м.т.}), \quad (2)$$

$$t_{м.т.} = t_b - q_n r / \alpha \quad (3)$$

Уравнение (1) решается, следовательно, путем анализа тепло-массопереноса.

Принято считать, что основное сопротивление процессу теплопередачи в системах газ – жидкость сосредоточено в газовой фазе. При этом для расчета кинетики процесса целесообразно воспользоваться выражением (1).

Таким образом, в градирне всегда имеет место испарение. Но поскольку испарение связано с затратой теплоты на изменение агрегатного состояния, то оно вызывает поток теплоты Q_u только от воды к воздуху (отвод теплоты), то есть охлаждение воды. Поток теплоты за счёт соприкосновения Q_c также направлен от воды к воздуху. Результирующее количество теплоты Q составит:

$$Q = Q_u + Q_c \quad (4)$$

Установлено, что отвод теплоты испарением преобладает над теплоотдачей соприкосновением.

Тепловой баланс системы производственного оборудования – градирня имеет вид:

$$Q_{об} = Q_{гп} \quad (5)$$

где $Q_{об}$ – количество теплоты, выделяемое оборудованием; $Q_{гп}$ – количество теплоты, отводимое холодным воздухом в градирне.

На основании этого запишем уравнение теплового баланса, позволяющее определить расход воздуха G_a на охлаждение воды:

$$G \cdot c(t_n - t_k) = G_a \cdot c_a(t_2 - t_1) \quad (6)$$

откуда

$$G_a = \frac{G \cdot c(t_n - t_k)}{c_a(t_2 - t_1)} \quad (7)$$

где G – расход охлаждаемой воды; c – средняя удельная теплоёмкость этой воды; c_a – удельная теплоёмкость воздуха; t_n , t_k – начальная и конечная температура охлаждаемой воды; t_1 , t_2 – начальная и конечная температура охлаждающего воздуха.

Уравнение теплового баланса можно записать иначе:

$$Gh_n + G_s h_{n,s} = Gh_k + G_s h_{k,s} + Q_n \quad (8)$$

Откуда

$$G_s = \frac{[G(h_n - h_k) - Q_n]}{h_{k,s} - h_{n,s}} \quad (9)$$

где G – расход охлаждаемой воды; h_n и h_k – начальная и конечная энтальпия охлаждаемой воды ($h = ct$, где c – теплоемкость, t – температура теплоносителя); $h_{n,v}$ и $h_{k,v}$ – начальная и конечная энтальпия охлаждающего воздуха; Q_n – потери теплоты в окружающую среду.

При теплотехнических расчетах задаются: средней максимальной температурой воздуха наиболее теплого месяца; средней месячной относительной влажностью воздуха в 15 ч наиболее теплого месяца; атмосферным давлением; температурой воздуха по психрометру.

Теория мокрого термометра [10] основана на использовании процесса сопряженного теплообмена в движущейся среде вблизи поверхности раздела фаз с целью расчета стабилизированного значения температуры мокрого термометра $t_{m,t}$.

В стационарном состоянии поток теплоты, направленный внутрь воды, равен изменению энтальпии на её поверхности:

$$\alpha(t - t_{m,t}) \frac{C_o}{1 - e^{-C_o}} = r\beta \leftarrow P \ln \left(\frac{1 - g}{1 - g_k} \right) \quad (10)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, независимый от движущей силы процесса; $t_{m,t}$ – температура мокрого термометра; C_o – коэффициент Эккермана, зависящий от мольного потока компонентов и коэффициента теплоотдачи; r – теплота испарения на межфазной поверхности; β – коэффициент массоотдачи, не зависящий от движущей силы процесса; p – полное давление в двухфазной системе; g – мольная доля; g_k – концентрация на межфазной поверхности.

Используя аналогию между коэффициентами теплопередачи и массопередачи, получим уравнение:

$$(t - t_{m,t}) \frac{C_o}{1 - e^{-C_o}} = r \frac{\beta^*}{C_p} Le^{\frac{2}{3}} \ln \left(\frac{1 - g}{1 - g_k} \right) \quad (11)$$

где β – поправочный коэффициент (обычно принимается $\beta = 1$); C_p – мольная теплоемкость компонента; $Le = Pr/Sc$ – число Льюиса для жидкости; Pr , Sc – числа Прандтля и Шмидта для жидкости или $DC_p\rho/\lambda$, где D – коэффициент диффузии в жидкости; ρ , λ – соответственно плотность и коэффициент теплопроводности жидкой фазы.

Уравнение (11) позволяет найти $t_{m,t}$ для фиксированных значений g и t . После введения ряда приближений для фактора Эккермана и с учетом незначительной разности температур и парциальных давлений при использовании показаний $t_{m,t}$, уравнение (11) принимает вид:

$$t - t_{m,t} = \frac{r}{C_p} Le^{\frac{2}{3}} (g_k - g) \quad (12)$$

При измерении влажности для системы воздух-вода погрешность в результате допущенных приближений не превышает 2–3%. Если использовать значения влажности воздуха $W = M_a g / M_b (1 - g)$ и массовой теплоемкости паровоздушной смеси $c_s = c_b + W c_a$ то уравнение (12) можно записать в виде:

$$t - t_{m,t} = \frac{\left(\frac{r}{M_a}\right)}{c_s} Le^{\frac{2}{3}} (W_{m,t} - W) \quad (13)$$

где M_a , M_b – молекулярные массы жидкой фазы и воздуха; c_s – теплоемкость паровоздушной смеси.

При практическом применении уравнения (12) в случае системы вода-воздух, для которой $Le^{\frac{2}{3}} = 1$, число Льюиса в уравнении опускают, тогда уравнение (13) приобретает вид:

$$c_s t + \left(\frac{r}{M_a}\right) W = c_s t_{m,t} + \left(\frac{r}{M_a}\right) W_{m,t} \quad (14)$$

Вследствие небольших изменений теплоемкости с изменением температуры, этими изменениями пренебрегают. Тогда на поверхности шарика мокрого термометра энтальпия насыщенного воздуха на единицу массы будет равна энтальпии смеси воздух-вода в объеме.

Иными словами разность между температурой сухого термометра t_c и температурой мокрого термометра $t_{m,t}$ пропорциональна влажности воздуха: чем суше воздух, тем больше разность $t_c - t_{m,t}$; если же воздух насыщен паром, то $t_c = t_{m,t}$, так как парциальное давления водяного пара в воздухе равно давлению насыщения водяного пара при той же температуре t_c . Поскольку психометрическое отношение приблизительно равно единице, то температура мокрого термометра практически та же, что и температура адиабатического насыщения в системе воздух-вода. На практике значение $t_{m,t} \approx const$, однако значения t и W изменяются.

Зачастую возникает задача определения средней разности энтальпии воздуха в градирне, локальные значения которой могут существенно изменяться [3]. Обычно для расчета используется уравнение Меркеля, выражающее общее количество теплоты передаваемое в результате совокупности конвективного теплообмена и изменения агрегатного состояния вещества-испарения воды. Движущей силой является разность энтальпий (теплосодержаний) влажного воздуха.

Уравнение Меркеля имеет вид:

$$dQ = \beta_x (h'' - h) dF \quad (15)$$

где Q – количество передаваемой теплоты; β_x – коэффициент массоотдачи, отнесенный к разности влагосодержаний воздуха; h'' – энтальпия насыщенного влажного воздуха при температуре поверхности воды; h – энтальпия влажного воздуха в основном потоке; F – поверхность.

Поскольку уравнение (15) относится к элементам поверхности контакта воды и влажного воздуха, возникают трудности при правильном осреднении разности энтальпий воздуха.

Количество передаваемой теплоты находим из уравнения:

$$dQ = G_s dh = \frac{1}{\kappa} G_{ж} c_{ж} dt \quad (16)$$

где G_v и $G_{ж}$ – расходы воздуха и воды; k – поправочный множитель; $c_{ж}$ – теплоёмкость воды; t – температура воды.

Из (15) и (16) запишем:

$$G_s dh = \frac{1}{\kappa} G_{ж} c_{ж} dt = \beta_x (h'' - h) dF \quad (17)$$

Уравнение (16) в интегральной форме:

$$Q = G_s (h_2 - h_1) = \frac{1}{\kappa} G_{ж} c_{ж} (t_1 - t_2) = \beta_x \Delta h_{cp} F \quad (18)$$

где индексы 1 и 2 обозначают начальные и конечные значения параметров. Величина Δh_{cp} – средняя по поверхности разность энтальпий воздуха $h'' - h$, дельта $h_{cp} = h'' - h$.

Используя объёмный коэффициент массоотдачи $\beta_v = \beta_x F/V$, отнесенный к единице активного объёма аппарата $V = HF_a$ (где H – его высота, а F_a – площадь сечения активного объёма), из уравнений (17) и (18) находим формулы для расчёта поверхности F , активного объёма V_a и высоты H_a на градирни, тогда имеем:

$$\Delta h_{cp} = \frac{h_2 - h_1}{H_2} = \frac{t_1 - t_2}{H_2} \quad (19)$$

Л.Д. Берманом получена другая формула для средней логарифмической разности энтальпий:

$$\Delta h_{cp} = \frac{h_2 - h_1}{H_1} = \frac{\Delta h_1 - \Delta h_2}{\ln \frac{\Delta h_1 - \delta h''}{\Delta h_2 - \delta h''}} \quad (20)$$

Формула (20) обеспечивает большую для практических расчётов точность получаемых результатов по сравнению с (19).

Аэродинамический расчёт вентиляторных градирен заключается в установлении соответствия полного аэродинамического сопротивления градирни напору, развиваемому вентилятором [4, 6].

Полное аэродинамическое сопротивление P представляет собой сумму сопротивлений её элементов: входа воздуха в градирню P_1 ; воздухораспределителя P_2 ; поворота потока воздуха в ороситель P_3 ; внезапного сужения при входе воздуха в ороситель P_4 ; оросителя P_5 ; внезапного расширения при выходе воздуха из оросителя P_6 ; водоуловителя P_7 ; водораспределителя P_8 ; входа воздуха в вентилятор P_9 и выходного патрубка из вентилятора P_{10} :

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{10} \quad (21)$$

Величины сопротивлений входящую в правую часть выражения (21), рассчитываются по формуле:

$$P_{1,2,...,10} = S_{1,2,...,10} \frac{\rho \alpha_{1,2,...,10}^2}{2g} \quad (22)$$

где: $\xi_{1,2,...,10}$ – коэффициент сопротивления элементов градирни; $\omega_{1,2,...,10}$ – скорость движения воздуха в элементах градирни; ρ – плотность воздуха.

Коэффициент ξ_1 для определения сопротивления P_1 , отнесённый к скорости воздуха во входных окнах градирни, рекомендуется принимать:

$$\xi_1 = 0,55 \quad (23)$$

Коэффициент сопротивления воздухораспределителя ξ_2 рассчитывается по формуле:

$$S_2 = (0,1 + 0,025q_{ж}) d_3 \quad (24)$$

где $q_{ж}$ – плотность орошения градирни; d_3 – эквивалентный диаметр воздухораспределителя.

Коэффициент сопротивления поворота потока в ороситель, отнесенный к скорости воздуха в оросителе, рекомендуется принимать равным:

$$\xi_3 = 0,5 \quad (25)$$

Величина коэффициента сопротивления ξ_4 определяется по формуле

$$S_4 = 0,5 \left(1 - \frac{f_o}{f} \right) \quad (26)$$

где f_o – площадь живого сечения оросителя; f – площадь всего сечения оросителя.

Коэффициент сопротивления всего оросителя:

$$\xi_5 = \xi_5' h \quad (27)$$

где h – высота оросителя, s – коэффициент сопротивления сухого и мокрого оросителя [2].

Коэффициент сопротивления выхода потока из оросителя:

$$S_6 = \left(1 - \frac{f_o}{f} \right)^2 \quad (28)$$

Здесь величина коэффициента отнесена к скорости в живом сечении оросителя.

По Идельчику [6] величина коэффициента сопротивления водоуловителя ζ_7 определяется по формуле:

$$S_7 = \left[0,5 + 2 \left(1 - \frac{f_{o,p}}{f_p} \right)^2 \right] \left(\frac{f_p}{f_{o,p}} \right)^2 \quad (29)$$

где $f_{o,p}$ и f_p – соответственно площади живого сечения и общая водоуловителя.

Коэффициент сопротивления водораспределителя можно рассчитать по формуле [6]:

$$S_8 = \left[0,5 + 1,3 \left(1 - \frac{f_o}{f} \right)^2 \right] \left(\frac{f}{f_o} \right)^2 \quad (30)$$

где f_o – площадь живого сечения водораспределителя; f – общая площадь устройства.

Предложена зависимость для определения коэффициента сопротивления входа воздуха через конфузор в вентилятор [4]:

$$S_{g(\text{конф})} = S_{g(\text{кол})} \left(1 - \frac{f_{o,k}}{f_k} \right) S_{m,p} \quad (31)$$

Здесь f_k и $f_{o,k}$ – площадь сечения до и после сужения; $S_{g(\text{кол})}$ – коэффициент сопротивления конического коллектора; $\xi_{g(\text{кол})}$ – коэффициент сопротивления трения.

Если выходной патрубок имеет форму диффузора, то его коэффициент сопротивления

$$S_{10} = (1 + \delta) S_{расч.} \quad (32)$$

где σ – поправочный коэффициент; ζ – коэффициент сопротивления расчётный.

Значения обоих коэффициентов приведены в специальной литературе.

Потери воды при работе градирен неизвестны.

Допуская, что вся теплота передаётся от воды только за счёт испарения, запишем:

$$G_u r \approx G_{ж} \Delta t c_{ж} \quad (33)$$

где G_u – количество испарившейся воды; r – теплота парообразования; $G_{ж}$ – гидравлическая нагрузка градирни; Δt – перепад температур воды; $c_{ж}$ – удельная теплоёмкость воды.

Из (23) получаем выражение для определения количества испарившейся воды в процентах от общего расхода циркуляционной воды:

$$n = \frac{G_u}{G_{ж}} 100 = \frac{\Delta t c_{ж}}{r} 100 = \alpha \Delta t \quad (34)$$

где a – поверхность охлаждения,

$$a = \frac{c_{ж}}{r} 100 \quad (35)$$

Потери воды в виде капель из-за уноса существенно зависят от конструкций водораспределителя и каплеуловителя градирни, а также от их исправности. Принимаются потери за счёт уноса 0,3–0,5% от циркуляционного расхода воды [11].

Потери воды на фильтрацию малы и их при расчёте не учитывают.

Величина потери на продувку (сброса части воды из циркуляционной системы с целью ограничения солесодержания воды) определяется в зависимости от качества добавочной (свежей) воды. Потери могут составлять 0,5–5%.

Изложенные в работе теоретические и практические материалы послужат полезной информацией для совершенствования действующих и разработки новых конструкций градирен.

Литература

- 1 Чашин В.П., Гудков А.Б., Попова О.Н., Одланд И.О. и др. Характеристика основных факторов риска нарушений здоровья населения, проживающего на территориях активного природопользования в Арктике // Экология человека. 2014. № 1. С. 3–12.
- 2 Конторович А.Э., Коржубаев А.Г., Эдер Л.В. Прогноз глобального энергообеспечения: методология, количественные оценки, практические выводы // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2006. № 5. URL: <http://www.vipstd.ru/gim/content/view/90/278/>
- 3 Раскина Т.А., Пирогова О.А., Зобнина О.В., Пинтова Г.А. Показатели системы остеокластогенеза у мужчин с различными клиническими вариантами анкилозирующего спондилита // Современная ревматология. 2015. Т. 9. № 2. С. 23–27. doi: 10.14412/1996-7012-2015-2-23-27
- 4 Терещенко Ю.В. Трактовка основных показателей variability ритма сердца // Новые медицинские технологии на службе первичного звена здравоохранения: материалы межрегиональной конференции. 2010. С. 3–11.
- 5 Абдурахманов Г.М., Лопатин И.К. Основы зоологии и зоогеографии. Москва: Академия, 2001. 496 с.
- 6 Иванова А.Е. Проблемы смертности в регионах Центрального федерального округа // Социальные аспекты здоровья населения. 2008. № 2. URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/54/30/>
- 7 ГОСТ 8.586.5-2005. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. М.: Стандартинформ, 2007. 143 с.
- 8 Дмитриев А.В., Мадышев И.Н., Круглов Л.В., Чичирова Н.Д. Оценка эффективности процессов тепло-и массообмена в трехпоточной испарительной градирне с наклонно-гофрированными контактными элементами // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. Т. 12. № 4 (48). С. 125–134.
- 9 Тарасов Е.В., Жинов А.А. Оптимизация бездеаэрационной тепловой схемы паротурбинной установки с теплообменными аппаратами смешивающего типа // Электронный журнал: наука, техника и образование. 2017. № 2. С. 56–63.

- 10 Rao R.V., More K.C. Optimal design and analysis of mechanical draft cooling tower using improved Jaya algorithm // *International Journal of Refrigeration*. 2017. V. 82. P. 312-324.
- 11 Yin Hai Z.H.U., Wei P.E.N.G., Ruina X.U., Jiang P. et al. Review on active thermal protection and its heat transfer for airbreathing hypersonic vehicles // *Chinese Journal of Aeronautics*. 2018. V. 31. №. 10. P. 1929-1953.
- 12 Goldstein E.A., Raman A.P., Fan S. Sub-ambient non-evaporative fluid cooling with the sky // *Nature Energy*. 2017. V. 2. №. 9. P. 1-7. doi: 10.1038/nenergy.2017.143
- 13 Cheng L., Xia G. Fundamental issues, mechanisms and models of flow boiling heat transfer in microscale channels // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2017. V. 108. P. 97-127.
- 14 Khanjari Y., Pourfayaz F., Kasaeian A.B. Numerical investigation on using of nanofluid in a water-cooled photovoltaic thermal system // *Energy Conversion and Management*. 2016. V. 122. P. 263-278.
- 15 Ganvir R.B., Walke P.V., Kriplani V.M. Heat transfer characteristics in nanofluid—A review // *Renewable and sustainable energy reviews*. 2017. V. 75. P. 451-460.
- 16 Okonkwo E.C., Wole-Osho I., Almanassra I.W., Abdullatif Y.M. et al. An updated review of nanofluids in various heat transfer devices // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2021. V. 145. P. 2817-2872.
- 17 Cho H.J., Preston D.J., Zhu Y., Wang E.N. et al. Nanoengineered materials for liquid–vapour phase-change heat transfer // *Nature Reviews Materials*. 2016. V. 2. №. 2. P. 1-17. doi: 10.1038/natrevmats.2016.92
- 18 Jaluria Y. *Computational heat transfer*. Routledge, 2017.
- 19 Alavi S.R., Rahmati M. Experimental investigation on thermal performance of natural draft wet cooling towers employing an innovative wind-creator setup // *Energy conversion and management*. 2016. V. 122. P. 504-514.
- 20 Mantelli M.H.B. Development of porous media thermosyphon technology for vapor recovering in cross-current cooling towers // *Applied Thermal Engineering*. 2016. V. 108. P. 398-413.

References

- 1 Chashchin V.P., Gudkov A.B., Popova O.N., Odland I.O. and others. Characteristics of the main risk factors for health problems among the population living in areas of active environmental management in the Arctic. *Human Ecology*. 2014. no. 1. pp. 3–12. (in Russian).
- 2 Kontorovich A.E., Korzhubayev A.G., Eder L.V. Forecast of global energy supply: methodology, quantitative estimates, practical conclusions. *Mineral Resources of Russia. Economics and Management*. 2006. no. 5. Available at: <http://www.vipstd.ru/gim/content/view/90/278/> (in Russian).
- 3 Raskina T.A., Pirogova O.A., Zobnina O.V., Pintova G.A. Indicators of the osteoclastogenesis system in men with various clinical variants of ankylosing spondylitis. *Modern rheumatology*. 2015. vol. 9. no. 2. pp. 23–27. doi: 10.14412/1996-7012-2015-2-23-27 (in Russian).
- 4 Tereshchenko Yu.V. Interpretation of the main indicators of heart rate variability. New medical technologies in the service of primary healthcare: materials of the interregional conference. 2010. pp. 3–11. (in Russian).
- 5 Abdurakhmanov G.M., Lopatin I.K. *Fundamentals of zoology and zoogeography*. Moscow, Academy, 2001. 496 p. (in Russian).
- 6 Ivanova A.E. Problems of mortality in the regions of the Central Federal District. Social aspects of population health. 2008. no. 2. Available at: <http://vestnik.mednet.ru/content/view54/30/> (in Russian).
- 7 GOST 8.586.5-2005. State system for ensuring the uniformity of measurements. Measurement of flow and quantity of liquids and gases using standard restriction devices. M., Standartinform, 2007. 143 p. (in Russian).
- 8 Dmitriev A.V., Madyshev I.N., Kruglov L.V., Chichirova N.D. Assessing the efficiency of heat and mass transfer processes in a three-flow evaporative cooling tower with inclined corrugated contact elements. *Bulletin of the Kazan State Energy University*. 2020. vol. 12. no. 4 (48). pp. 125-134. (in Russian).
- 9 Tarasov E.V., Zhinov A.A. Optimization of a deaerator-free thermal circuit of a steam turbine plant with mixing-type heat exchangers. *Electronic journal: science, technology and education*. 2017. no. 2. pp. 56-63. (in Russian).
- 10 Rao R.V., More K.C. Optimal design and analysis of mechanical draft cooling tower using improved Jaya algorithm. *International Journal of Refrigeration*. 2017. vol. 82. pp. 312-324.
- 11 Yin Hai Z.H.U., Wei P.E.N.G., Ruina X.U., Jiang P. et al. Review on active thermal protection and its heat transfer for airbreathing hypersonic vehicles. *Chinese Journal of Aeronautics*. 2018. vol. 31. no. 10. pp. 1929-1953.
- 12 Goldstein E.A., Raman A.P., Fan S. Sub-ambient non-evaporative fluid cooling with the sky. *Nature Energy*. 2017. vol. 2. no. 9. pp. 1-7. doi: 10.1038/nenergy.2017.143
- 13 Cheng L., Xia G. Fundamental issues, mechanisms and models of flow boiling heat transfer in microscale channels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2017. vol. 108. pp. 97-127.
- 14 Khanjari Y., Pourfayaz F., Kasaeian A.B. Numerical investigation on using of nanofluid in a water-cooled photovoltaic thermal system. *Energy Conversion and Management*. 2016. vol. 122. pp. 263-278.
- 15 Ganvir R.B., Walke P.V., Kriplani V.M. Heat transfer characteristics in nanofluid—A review. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2017. vol. 75. pp. 451-460.
- 16 Okonkwo E.C., Wole-Osho I., Almanassra I.W., Abdullatif Y.M. et al. An updated review of nanofluids in various heat transfer devices. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2021. vol. 145. pp. 2817-2872.
- 17 Cho H.J., Preston D.J., Zhu Y., Wang E.N. et al. Nanoengineered materials for liquid–vapour phase-change heat transfer. *Nature Reviews Materials*. 2016. vol. 2. no. 2. pp. 1-17. doi: 10.1038/natrevmats.2016.92
- 18 Jaluria Y. *Computational heat transfer*. Routledge, 2017.
- 19 Alavi S.R., Rahmati M. Experimental investigation on thermal performance of natural draft wet cooling towers employing an innovative wind-creator setup. *Energy conversion and management*. 2016. vol. 122. pp. 504-514.
- 20 Mantelli M.H.B. Development of porous media thermosyphon technology for vapor recovering in cross-current cooling towers. *Applied Thermal Engineering*. 2016. vol. 108. pp. 398-413.

Сведения об авторах

Юлиан И. Шишацкий д.т.н., профессор, кафедра физики, теплотехники и теплоэнергетики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Сергей А. Никель к.т.н., доцент, кафедра физики, теплотехники и теплоэнергетики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, sergei.nickel@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9043-9452>

Сергей А. Толстов к.т.н., доцент, электротехники, теплотехники и гидравлики, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия, serezhha.tolstoff@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2528-0905>

Игорь А. Авцинов д.т.н., профессор, кафедра автоматизированных систем управления процессами и производствами, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, igor.awtzinov@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2528-0905>

Анна А. Дерканосова д.т.н., профессор, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, aa-derk@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9726-9262>

Александр Е. Емельянов к.т.н., доцент, кафедра автоматизированных систем управления процессами и производствами, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, emalexeg@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5639-602X>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Yulian I. Shishatskii Dr. Sci. (Engin.), professor, physics, heatengineering and heat power engineering department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Sergei A. Nickel Cand. Sci. (Engin.), associate professor, physics, heatengineering and heat power engineering department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, sergei.nickel@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9043-9452>

Sergey A. Tolstov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, electrical engineering, heating engineering and hydraulics department, Voronezh State Forestry University, st. Timiryazeva, 8, Voronezh, 394087, Russia, serezhha.tolstoff@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2528-0905>

Igor' A. Avcinov Dr. Sci. (Engin.), professor, automated process and production control systems department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, igor.awtzinov@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2528-0905>

Anna A. Derkanosova Dr. Sci. (Engin.), professor, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, aa-derk@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9726-9262>

Aleksandr E. Emelyanov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, automated process and production control systems department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, emalexeg@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5639-602X>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 15/01/2024	После редакции 01/02/2024	Принята в печать 20/02/2024
Received 15/01/2024	Accepted in revised 01/02/2024	Accepted 20/02/2024

Влияние добавления муки из овсяных хлопьев на технологические параметры приготовления пшеничного багета

Анна Е. Ковалева	¹	a.e.kovaleva@ya.ru	 0000-0001-7807-1755
Эльвира А. Пьяникова	¹	alia1969@ya.ru	 0000-0003-4424-7323
Анастасия С. Рязанцева	¹	an.ryazantseva2016@ya.ru	 0000-0000-0000-0000
Евгений Ю. Калугин	¹	zkaluga2412@gmail.com	 0000-0000-0000-0000
Егор Т. Грешилов	¹	egorgreshilov99@gmail.com	 0000-0000-0000-0000
Елена В. Овчинникова	²	e.ov4innikova2011@ya.ru	 0000-0001-6755-2764

¹ Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия

² Курский институт кооперации, ул. Радищева, 116, г. Курск, 305004, Россия

Аннотация. Среди населения в последнее время большой популярностью пользуются функциональные продукты питания. К этой категории относят продукты с добавленной пищевой ценностью, которые благоприятно влияют на состояние организма и способствуют снижению риска развития ряда заболеваний. Одним из таких ингредиентов являются пищевые волокна, источником которых могут являться овсяные хлопья. В работе было рассмотрено влияние муки из овсяных хлопьев на технологические параметры производства багета пшеничного, в рецептуре которого часть пшеничной муки заменялась данной мукой. Результаты исследований показали, что при замесе теста из-за высокой водопоглощающей способности овсяной муки расход воды увеличивается, по сравнению с приготовлением теста на пшеничной муке. В ходе протекания процесса брожения происходит повышение температуры теста и как следствие процесс брожения ускоряется, что может негативно сказаться на кислотности багета. Поэтому вместо воды комнатной температуры добавляется лед. Жесткость такой ледяной воды должна быть 4-6 °Ж. С целью получения более пластичного и упругого теста для багет использовали овсяную муку с содержанием жира не более 9% и с заменой пшеничной муки в количестве не более 50%. Использование муки из овсяных хлопьев в рецептуре багет оказывает влияние на продолжительность операции «брожение»: ускоряет его благодаря наличию большого количества витаминов, минералов и суммарных сахаров, являющихся питательной средой для развития дрожжей. Введение в технологию производства багет дополнительной обработки отформованных заготовок кипящим раствором соды позволяет получить изделие с хрустящей корочкой и воздушным мякишем.

Ключевые слова: багет пшеничный, рецептура, технологические параметры, брожение, мука из овсяных хлопьев.

The effect of adding flour from oat flakes on the technological parameters of the preparation of wheat baguette

Anna E. Kovaleva	¹	a.e.kovaleva@ya.ru	 0000-0001-7807-1755
Elvira A. Pyanikova	¹	alia1969@ya.ru	 0000-0003-4424-7323
Anastasia S. Ryazantseva	¹	an.ryazantseva2016@ya.ru	 0000-0000-0000-0000
Evgeny Yu. Kalugin	¹	zkaluga2412@gmail.com	 0000-0000-0000-0000
Egor T. Greshilov	¹	egorgreshilov99@gmail.com	 0000-0000-0000-0000
Elena V. Ovchinnikova	²	e.ov4innikova2011@ya.ru	 0000-0001-6755-2764

¹ South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040, Russia

² Kursk Institute of Cooperation, Radishcheva, 116, Kursk, 305004, Russia

Abstract. Functional food products have recently become very popular among the population. This category includes products with added nutritional value, which favorably affect the state of the body and contribute to reducing the risk of developing a number of diseases. One of these ingredients is dietary fiber, the source of which may be oat flakes. The paper examined the influence of oatmeal flour on the technological parameters of the production of wheat baguette, in the formulation of which part of the wheat flour was replaced by this flour. Research results have shown that when kneading dough, due to the high water-absorbing ability of oat flour, water consumption increases, compared with the preparation of dough on wheat flour. During the fermentation process, the temperature of the dough increases and, as a result, the fermentation process accelerates, which can negatively affect the acidity of the baguette. Therefore, ice is added instead of room temperature water. The hardness of such ice water should be 4-6 ° F. In order to obtain a more plastic and elastic dough for baguettes, oat flour with a fat content of no more than 9% and with the replacement of wheat flour in an amount of no more than 50% was used. The use of oatmeal flour in the baguette recipe affects the duration of the "fermentation" operation: it accelerates it due to the presence of a large amount of vitamins, minerals and total sugars, which are a nutrient medium for the development of yeast. Introduction to the baguette production technology of additional processing of molded blanks with a boiling soda solution allows you to get a product with a crisp crust and an airy crumb.

Keywords: wheat baguette, recipe, technological parameters, fermentation, oatmeal flour.

Для цитирования

Ковалева А.Е., Пьяникова Э.А., Рязанцева А.С., Калугин Е.Ю., Грешилов Е.Т., Овчинникова Е.В. Влияние добавления муки из овсяных хлопьев на технологические параметры приготовления пшеничного багета // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 38–45. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-38-45

For citation

Kovaleva A.E., Pyanikova E.A., Ryazantseva A.S., Kalugin E.Yu., Greshilov E.T., Ovchinnikova E.V. The effect of adding flour from oat flakes on the technological parameters of the preparation of wheat baguette. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 38–45. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-38-45

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Сегодня все более актуальным становится здоровый образ жизни и использование диетических продуктов, полезных для организма и не содержащих избыточного количества калорий. С этим связан интерес к овсяной муке, которая является одним из самых полезных продуктов для диетического питания [1].

Многие исследователи позиционируют ее как муку, не содержащую глютен, но на самом деле это не совсем корректное утверждение. В отличие от пшеницы, которая содержит глютен, овес имеет в составе другое вещество – авенин. Это основной белок данной злаковой культуры (до 80%). Благодаря авенину овсяная мука и хлопья оказывают на организм тонизирующее действие. В составе авенина содержится 25% глутаминовой кислоты, который на кишечник действует так же, как и глютен. И хотя овес часто рекомендуют тем, кто придерживается безглютеновой диеты, это касается только тех хлопьев и муки, которые прошли специальную обработку и на которых стоит соответствующая пометка.

Еще одно отличие овсяной муки от пшеничной – она содержит полезный для организма кремний, который в других видах муки вообще отсутствует. Белки составляют 13 г (14%), жиры 7 г (16%) и углеводы 65 г (70%), отсюда соотношение белков, жиров и углеводов 1:0,5:5.

Причем жиров в овсяной муке больше, чем в пшеничной муке. Также она богата такими витаминами и минералами, как: витамин B1 – 23,3%, витамин PP – 21,5%, калий – 11,2%, магний – 27,5%, фосфор – 43,8%, железо – 20% [2–4].

Известно, что овсяная мука обладает исключительными питательными свойствами, главным образом благодаря β-глюкану – растворимой клетчатки, обладающей полезными свойствами для здоровья (снижение уровня холестерина в крови и снижение риска сердечно-сосудистых заболеваний) [5, 6].

В овсяной муке содержится на 11% больше клетчатки, чем в белой универсальной пшеничной. Клетчатка дольше сохраняет чувство сытости.

Багет – длинный тонкий хлеб с мягким нежным мякишем и хрустящей корочкой. Этот продукт стал популярен не только на своей родине во Франции, но и за ее пределами.

Такой вид хлеба выпекается в виде длинного узкого батона. Его длина может достигать

70 см, а толщина – 4–5 см. Вес колеблется в зависимости от вида и составляет 170–450 г. В среднем вес традиционной выпечки составляет 200–300 г.

Тесто готовится на основе пшеничной муки с добавлением воды, соли и дрожжей. Иногда вместо воды добавляется молоко или молочная сыворотка, что делает вкус более нежным и насыщенным, а мякиш – воздушным.

Багет отличается высокой калорийностью, отдельные виды содержат от 225 до 316 ккал на 100 г.

Существует множество рецептов и технологий выработки багет. Выделяют несколько основных видов:

- традиционный – пшеничный без вкусовых добавок с воздушным мякишем и твердой хрустящей корочкой;

- деревенский – может входить ржаная мука или зерна грубого помола. Форма вытянутая с острыми кончиками;

- фарине – традиционный рецепт, но изделие перед выпеканием посыпается мукой;

- формовой – плотный мякиш с тонкой коркой, подходит для супов.

Также различают рецепты по способу выпекания. Помимо обычного производственного оборудования используют каменные печи, что делает выпечку пышной и ароматной.

Сырье, применяемое в хлебопечении, для производства багет делят на основное и вспомогательное. К основному сырию относят муку, соль и дрожжи. В хлебопечении используют ржаную муку разных сортов и пшеничную муку первого и второго сортов.

В качестве нетрадиционного сырья для приготовления багет, предлагается замещать часть пшеничной муки на муку, приготовленную из овсяных хлопьев.

Цель работы – установление влияния добавления муки из овсяных хлопьев при разработке рецептов пшеничного багета на технологические параметры его производства.

Материалы и методы

В качестве контрольного образца будут рассмотрены две рецептуры: классическая рецептура французского багета и рецептура багета (прототипа). В образце № 1 предлагается заменить 25% пшеничной муки на муку из овсяных хлопьев, а в образце № 2 – 50%. Рецептура багет представлена в таблице 1.

Таблица 1.

Рецептура образцов багет

Table 1.

Recipe of baguette samples

Ингредиент Ingredient	Рецептура классическая Classic recipe	Рецептура багета (прототип) Baguette recipe (prototype)	Разрабатываемые рецептуры Formulations being developed			
			Образец № 1 Sample № 1		Образец № 2 Sample № 2	
			г (мл) g (ml)	%	г (мл) g (ml)	%
Мука пшеничная высшего сорта (Россия), г Wheat flour of the highest grade (Russia), g	–	220	165	40,4	110	25,0
Мука пшеничная Т65 (Франция), г Wheat flour Т65 (France), g	1000	–	–	–	–	–
Овсяные хлопья, г Oat flakes, g	–	–	55	13,4	110	25,0
Вода, мл Water, ml	800	150	180	44,0	210	47,8
Соль пищевая, г Food salt, g	18	4,58	7	1,6	7	1,6
Дрожжи сухие быстродействующие, г Dry fast-acting yeast, g	7	–	2	0,6	2	0,6
Дрожжи прессованные, г Pressed yeast, g	–	5,2	–	–	–	–
Улучшитель обший, г General improver, g	–	0,42	–	–	–	–

Багеты по классической рецептуре и рецептуре прототипа изготавливают по унифицированной рецептуре безопарным (однофазным способом) и периодическим способом [7]. Однофазный способ предусматривают внесение всего количества сырья при замесе теста. Безопарный способ приготовления теста рекомендуется применять при выработке булочных и сдобных изделий из пшеничной муки высшего и первого сортов, имеющих относительно низкую кислотность – обычно не более 3–4 град.

При замесе безопарного теста периодическим способом в дежу сначала дозируют воду, в которой разводят прессованные дрожжи, затем соль, муку и остальное сырьё. Дозировка прессованных дрожжей при безопарном способе составляет 1,5–2,5% к массе муки, жидких дрожжей – 35–50% к массе муки. Продолжительность замеса безопарного теста – не менее 10 мин, температура теста после замеса – 28–32 °С. Влажность теста должна быть на 0,5–1,0% выше влажности мякиша готового изделия. Продолжительность брожения теста 2–4 часа (обычно около 3 ч). Через 1 час после замеса теста из муки высшего и первого сортов рекомендуется проводить обминку теста. Для теста из сильно муки проводят две или три обминки, причём последнюю – за 20–30 мин до окончания брожения.

Готовность теста определяют по увеличению объёма в 1,5–2 раза и по кислотности. Конечная кислотность безопарного теста должна быть на 0,5 град. выше кислотности готового изделия [8].

Результаты и обсуждение

Технологический процесс приготовления разрабатываемых образцов багет заключается в следующих технологических операциях, представленных на рисунке 1.

Овсяные хлопья перемалывают, первоначально, поместив их в высокоскоростной измельчитель, и затем измельчают в течение 30–60 секунд до получения тонкой порошкообразной консистенции. При необходимости время измельчения может быть увеличено еще 15–30 секунд. Все овсяные хлопья должны быть мелко перемолоты. Однако необходимо следить за процессом измельчения, так как чрезмерное смешивание может вызвать слипание частиц. Порошкообразная консистенцию должна быть близкой к текстуре пшеничной муки, но только немного более зернистой. Полученную из овсяных хлопьев муку можно хранить в закрытых емкостях при температуре 22 ± 2 °С сроком до одного месяца.

Подготовка муки заключается в составлении смеси из овсяной и пшеничной муки в соотношении 1:4 (образец № 1) или 1:2 (образец № 2), проведении их смешивания, просеивания и магнитной очистке. Мука проходит через сита просеивателя, размер ячеек 0,3 мм. Просеивание производится для очистки муки от посторонних примесей, а также для рыхления и аэрации муки (насыщение кислородом) [9]. На мучных линиях предусматриваются магнитные уловители, предназначенные для удаления из муки металлических частиц при прохождении через отверстия сита просеивателя. Затем мука поступает в зону хранения сырья. Перед использованием муку взвешивают. В приготовленной смеси в образце № 1 – осуществляется замена 25% пшеничной муки на овсяную муку, в образец № 2 – замена 50% пшеничной муки на овсяную муку.

Согласно рецептуре в подготовленную смесь добавляют соль и быстродействующие дрожжи.

После чего добавляется вода (180 мл), температура воды не должна превышать 35 °С, так как дрожжи лучше развиваются в теплой воде (при температуре 25–35 °С), что оказывает положительное влияние на процесс брожения.

Для избежания перегрева теста, можно использовать во время замеса и во время

брожения ледяную воду, при этом следить за температурой теста. Лед вытягивает у жидкостей тепло и при этом тает. За счет этого, тесто хоть и получается охлажденным, но все-таки остается легко-замешиваемым, так как содержит достаточное количество воды.

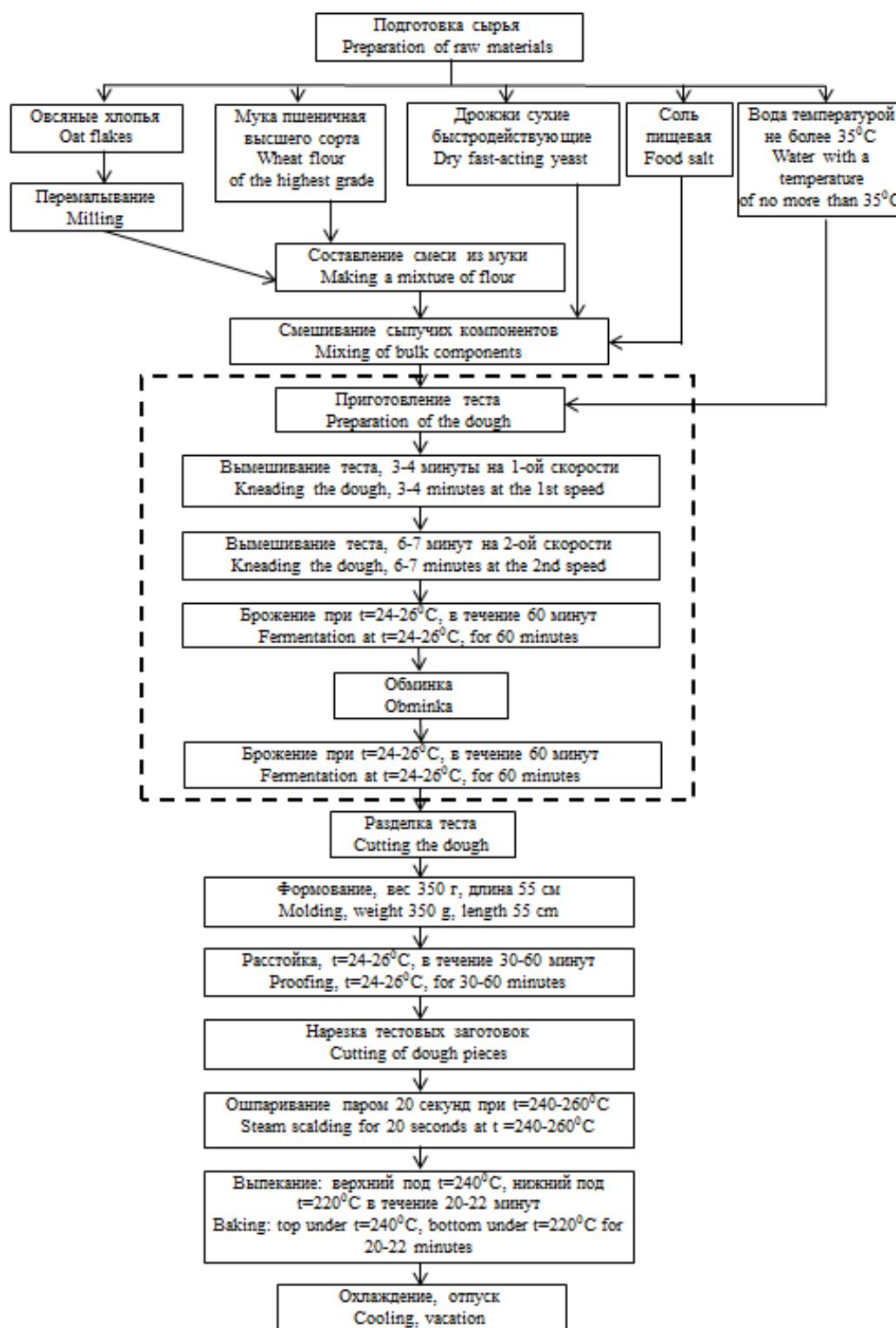


Рисунок 1. Технологический процесс приготовления багет

Figure 1. Technological process of baguette preparation

Добавление воды при замесе теста может по-разному влиять на процесс тестообразования, мука увлажняется, но тесто может быть не пластичным, грубым и твердым. Если в процессе замеса согласно рецептуре добавляется мука из овсяных хлопьев. Однако из-за своей высокой способности связывать воду β -глюкан, содержащийся в овсяной муке, делает тесто липким и влияет на желатинизацию крахмала. Тесто становится более крутым, и это требует введение дополнительного количества воды.

Дегградация β -глюкановых ферментов во время ферментации способствует выделению воды, поглощенной во время замеса, что делает работу с овсяным тестом очень сложной. Овсяная мука с лучшей дегградацией крахмала и более высокой способностью удерживать воду, чем пшеничная мука, оказывает влияние на замедление черствения и соответственно увеличивает срок годности готовой продукции. В связи с этим введение в рецептуру пшеничных багет, овсяной муки в зависимости от содержания в ней массовой доли жира может варьироваться от 5–50%. Оптимальной считается овсяная мука по содержанию жира от 3 до 9%, так как при этом тесто получается более пластичное, упругое и лучше держит форму [10]. Увеличение массовой доли жира в овсяной муке до 14% будет замедлять процесс брожения теста.

Жесткость воды также влияет на свойства теста. Она зависит от присутствия в ней солей кальция и магния. В России такой единицей является градус жесткости, который обозначается $^{\circ}\text{Ж}$ и равен 1 мг-экв/л. В 1°Ж содержится 20,04 мг ионов кальция и 12,16 мг ионов магния. Вода с показателем жесткости от 6 до 12°Ж и более замедляет работу дрожжей, со значением жесткости от 4–6 $^{\circ}\text{Ж}$ улучшает консистенцию теста, а мягкая вода с жесткостью менее 4°Ж – снижает интенсивность брожения и ослабляет клейковинный каркас. Так как соли, находящиеся в жесткой воде, влияют на образование клейковины, укрепляют ее, то при выпекании багет желателно использовать жесткую воду.

При замесе теста все ингредиенты хорошо перемешиваются сначала на первой скорости вращения месильного органа вокруг своей оси и по периметру дежи 52/14 оборотов в минуту в течение 3–4 минут. Тесто получается очень липким и должно иметь слабую консистенцию. Затем продолжается замес теста на второй скорости вращения месильного органа вокруг своей оси и по периметру дежи 78/21 оборотов в минуту в течение 6–7 минут до неполного развития клейковины.

Вымешанное тесто отправляется на следующую технологическую операцию – брожение, которое осуществляется в течение 60 минут при температуре 24–26 $^{\circ}\text{C}$, после чего производится обминка теста и продолжается брожение еще 60 минут при той же температуре.

Брожение начинается с момента замеса и продолжается в период нахождения теста в бродильных емкостях (дежах) и при последующих технологических операциях.

За время брожения в тесте проявляются вкусовые и ароматические вещества, а также происходит разрыхление теста углекислым газом. Внесение в тесто пшеничного багета овсяной муки способствует более интенсивному брожению, чем в образцах только с пшеничной мукой. Это в дальнейшем будет способствовать созданию мякиша с хорошо развитой тонкостенной пористостью, свойственной французскому багету. На интенсивность процесса брожения оказывает содержащееся больше количество суммарных сахаров (пентоз, гексоз, мальтоза и лактоза) [11–15] в овсяной муке (0,8 г) по сравнению с пшеничной мукой (0,3), а также витаминов и минералов, являющихся питательной средой для дрожжей. Однако, при накоплении углекислого газа может затормозиться жизнедеятельность дрожжей. Поэтому бродящее тесто подвергают кратковременной обминке (перемешиванию), углекислый газ удаляется, структура теста при этом улучшается.

Приготовленное тесто складывают от центра к краю, аналогичным способом складывают верхний и нижний края к центру. Данная операция повторяется несколько раз. Такое формование теста необходимо для того, чтобы некрутое тесто стало более пористым, хорошо поднялось, соответственно влажное тесто становится более упругим и формоустойчивым [16–20].

После чего разделяют тесто по весу в 350 г, раскатывают багет примерно длиной 55 см и отправляют на расстойку при температуре 24–26 $^{\circ}\text{C}$, в течение 30–60 минут.

Надрезы производятся пекарским ножом под углом 30° , таким образом, чтобы каждый надрез перекрывал багет на $\frac{1}{4}$ длины.

Для получения хрустящей корочки, характерной для французских багетов, заготовки обваривают в кипящем растворе (12 г. соды на 1 л воды) в течение 20 секунд. Сода, соединяясь с горячей жидкостью, даёт реакцию гашения. Происходит распад вещества с выделением пузырьков углекислого газа. Попадая в кипяток, тесто схватывается, образуя оболочку. При запекании эта оболочка превращается в глянцевую хрустящую корочку, а тесто внутри получается более пористое и воздушное.

Заготовки выпекаются в разогретой до 230 °С хлебопекарной печи в течение 20 минут.

При наличии на производстве оборудования с возможностью подавать пар. Заготовки выпекаются в предварительно разогретой до 240–260 °С печи, с предварительной подачей пара в течение 20 секунд и последующим выпеканием при температуре 240 °С верхнего пода и 220 °С нижнего пода в течение 20–22 минут.

Заключение

В ходе разработки технологического процесса производства пшеничного багета с добавлением муки из овсяных хлопьев были установлены следующие технологические параметры:

– при замесе теста с использованием муки из овсяных хлопьев воды требуется больше, чем при использовании пшеничной, что связано с высокой влагопоглощающей способностью овсяной муки;

– при брожении необходимо соблюдать температурный режим, т. к. при использовании в рецептуре муки из овсяных хлопьев

наблюдается интенсификация данного процесса. Для этого вместо воды комнатной температуры добавляется лед;

– рекомендуется в рецептуре для багет использовать овсяную муку с содержанием жира не более 9% для получения более пластичного и упругого теста;

– содержание овсяной муки в рецептуре багет, в зависимости от содержания в ней массовой доли жира, не должно превышать 50%;

– для получения теста для багета нужной консистенции необходимо использовать воду со значением жесткости от 4 до 6 °Ж;

– внесение в рецептуру муки из овсяных хлопьев из-за содержания большого количества суммарных сахаров, а также витаминов и минералов, являющихся питательной средой для дрожжей, ускоряет процесс брожения;

– с целью получения хрустящей корочки, характерной для французских багетов, и пористого и воздушного мякиша заготовки обваривают в кипящем растворе в течение 20 секунд.

Литература

- 1 Shukri R., Alavi S., Dogan H., Shi Y.C. Properties of extruded cross-linked waxy maize starches and their effects on extruded oat flour // Carbohydrate polymers. 2021. V. 253. P. 117259.
- 2 Пат. № 2775915, RU, A21D 13/80, 13/066, 8/06. Бисквитный полуфабрикат безглютеновый и способ его приготовления / Пьяникова Э.А., Ковалева А.Е., Ткачева Е.Д., Рязанцева А.С. № 2021132799; Заявл. 11.11.2021; Оpubл. 11.07.2022.
- 3 Самсонова Е.Д., Красноштанова А.А. Технология хлебобулочных изделий с использованием белоксодержащего растительного сырья // Успехи в химии и химической технологии. 2020. № 11. С. 62–67.
- 4 Полонский В.И., Сури́н Н.А., Герасимов С.А., Липшин А.Г. и др. Изучение сортов овса (*Avena sativa* L.) различного географического происхождения по качеству зерна и продуктивности // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. № 23(6). С. 683–690.
- 5 Zhang N., Gao Y., Tong L., Li Z. Superheated steam processing improved the qualities of oats flour and noodles // Journal of Cereal Science. 2018. V. 83. P. 96–100.
- 6 Roye C., Van Wayenbergh E., Henrion M., De Bondt Y. et al. Extrusion-cooking affects oat bran physicochemical and nutrition-related properties and increases its β -glucan extractability // Journal of Cereal Science. 2021. V. 102. P. 103360. doi: 10.1016/j.jcs.2021.103360
- 7 Ключкова И.С., Давидович В.В. Технология хлебобулочных изделий с использованием белоксодержащего растительного сырья // Научные труды Дальрыбвтуза. 2018. Т. 46. №. 3. С. 62–67.
- 8 Пат. № 2756117, RU, A21D 2/36. Хлеб из пшеничной и гречневой муки функционального назначения и способ его приготовления / Пьяникова Э.А., Ковалева А.Е., Ткачева Е.Д. и др. № 2020117493; Заявл. 27.05.2020; Оpubл. 28.09.2021.
- 9 Пьяникова Э.А., Ковалева А.Е., Кривдина О.А., Рязанцева А.С. Технологические параметры производства бисквитов безглютеновых // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 4(90). С. 63–69. doi: 10.20914/2310–1202–2021–4–63–69
- 10 Шаболкина Е.Н., Шевченко С.Н. Результаты изучения реологических и хлебопекарных показателей теста, полученного из смесей пшеничной муки и продуктов переработки зерна овса голозерного // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. №. 4 (36). С. 148–155. doi: 10.24411/2309–348X–2020–11218
- 11 Феофилактова О.В., Пономарев А.С. Исследование технологических свойств нетрадиционных видов муки при производстве продукции предприятий общественного питания // Food industry. 2019. Т. 4. №. 2. С. 28–34. doi: 10.29141/2500–1922–2019–4–2–4
- 12 Krochmal-Marczak B., Tobiasz-Salach R., Kaszuba J. The effect of adding oat flour on the nutritional and sensory quality of wheat bread // British Food Journal. 2020. V. 122. №. 7. P. 2329–2339. doi: 10.1108/BFJ-07-2019-0493
- 13 Abou-Raya M.A., Rabiaie M.M., El-Shazly A.S., El-Fadaly E.S. et al. Effect of adding barley and oat flour on the rheological properties of bread dough // Journal of Food and Dairy Sciences. 2014. V. 5. №. 8. P. 641–652.
- 14 Marcin K., Jarosław W., Monika P., Agnieszka W. Application of the response surface methodology in optimizing oat fiber particle size and flour replacement in wheat bread rolls // CyTA-Journal of Food. 2016. V. 14. №. 1. P. 18–26.

- 15 Zaki H., Hussien A. Chemical, rheological and sensory properties of wheat-oat flour composite cakes and biscuits // *Journal of Productivity and Development*. 2018. V. 23. №. 2. P. 287-306.
- 16 Morsy M.K. Physicochemical and Sensory Properties of Functional Biscuits Fortified With Oat Flour // *Annals of Agricultural Science, Moshtohor*. 2022. V. 60. №. 1. P. 63-72.
- 17 Farkas A., Szabó E., Horváth A., Jaksics E. et al. Development and application of a laboratory baking test for the characterisation of wholemeal oat flours // *Journal of Cereal Science*. 2023. V. 114. P. 103761.
- 18 Tamba-Berehoiu R.M., Cristea S., Negoită M.I.O.A.R.A., Popa C.N. et al. Bread making potential assessment of wheat-oat composite flours // *Romanian Biotechnological Letters*. 2019. V. 24. №. 3. P. 522-530.
- 19 Majzoobi M., Raiss Jalali A., Farahnaky A. Impact of whole oat flour on dough properties and quality of fresh and stored part-baked bread // *Journal of Food Quality*. 2016. V. 39. №. 6. P. 620-626. doi: 10.1111/jfq.12237
- 20 Abou-Raya M.A., Rabiaie M.M., El-Shazly A.S., El-Fadaly E.S. Effect of adding barley and oat flour on the rheological properties of bread dough // *Journal of Food and Dairy Sciences*. 2014. V. 5. №. 8. P. 641-652.

References

- 1 Shukri R., Alavi S., Dogan H., Shi Y.C. Properties of extruded cross-linked waxy maize starches and their effects on extruded oat flour. *Carbohydrate polymers*. 2021. vol. 253. pp. 117259.
- 2 Pyanikova E.A., Kovaleva A.E., Tkacheva E.D., Ryazantseva A.S. Gluten-free semi-finished biscuit product and method of its preparation. Patent RF, no. 2775915, 2022.
- 3 Samsonova E.D., Krasnoshtanova A.A. Technology of bakery products using protein-containing vegetable raw materials. *Advances in chemistry and chemical technology*. 2020. no. 11. pp. 62–67. (in Russian).
- 4 Polonsky V.I., Surin N.A., Gerasimov S.A., Lipshin A.G. et al. Study of oat varieties (*Avena sativa* L.) of different geographical origins in terms of grain quality and productivity. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019. no. 23(6). pp. 683–690. (in Russian).
- 5 Zhang N., Gao Y., Tong L., Li Z. Superheated steam processing improved the qualities of oats flour and noodles. *Journal of Cereal Science*. 2018. vol. 83. pp. 96-100.
- 6 Roye C., Van Wayenbergh E., Henrion M., De Bondt Y. et al. Extrusion-cooking affects oat bran physicochemical and nutrition-related properties and increases its β -glucan extractability. *Journal of Cereal Science*. 2021. vol. 102. pp. 103360. doi: 10.1016/j.jcs.2021.103360
- 7 Klochkova I.S., Davidovich V.V. Technology of bakery products using protein-containing vegetable raw materials. *Scientific works of Dalrybvtuz*. 2018. vol. 46. no. 3. pp. 62-67. (in Russian).
- 8 Pyanikova E.A., Kovaleva A.E., Tkacheva E.D. et al. Bread made from wheat and buckwheat flour for functional purposes and a method for its preparation. Patent RF, no. 2756117, 2021.
- 9 Pyanikova E.A., Kovaleva A.E., Krivdina O.A., Ryazantseva A.S. Technological parameters for the production of gluten-free biscuits. *Proceedings of VSUET*. 2021. vol. 83. no. 4(90). pp. 63–69. doi: 10.20914/2310-1202-2021-4-63-69 (in Russian).
- 10 Shabolkina E.N., Shevchenko S.N. Results of studying the rheological and baking characteristics of dough obtained from mixtures of wheat flour and products of processing of naked oat grain. *Grain legumes and cereal crops*. 2020. no. 4 (36). pp. 148-155. doi: 10.24411/2309-348X 2020-11218 (in Russian).
- 11 Feofilaktova O.V., Ponomarev A.S. Study of technological properties of non-traditional types of flour in the production of products of public catering enterprises. *Food industry*. 2019. vol. 4. no. 2. pp. 28-34. doi: 10.29141/2500-1922-2019-4-2-4 (in Russian).
- 12 Krochmal-Marczak B., Tobiasz-Salach R., Kaszuba J. The effect of adding oat flour on the nutritional and sensory quality of wheat bread. *British Food Journal*. 2020. vol. 122. no. 7. pp. 2329-2339. doi: 10.1108/BFJ-07-2019-0493
- 13 Abou-Raya M.A., Rabiaie M.M., El-Shazly A.S., El-Fadaly E.S. et al. Effect of adding barley and oat flour on the rheological properties of bread dough. *Journal of Food and Dairy Sciences*. 2014. vol. 5. no. 8. pp. 641-652.
- 14 Marcin K., Jarosław W., Monika P., Agnieszka W. Application of the response surface methodology in optimizing oat fiber particle size and flour replacement in wheat bread rolls. *CyTA-Journal of Food*. 2016. vol. 14. no. 1. pp. 18-26.
- 15 Zaki H., Hussien A. Chemical, rheological and sensory properties of wheat-oat flour composite cakes and biscuits. *Journal of Productivity and Development*. 2018. vol. 23. no. 2. pp. 287-306.
- 16 Morsy M.K. Physicochemical and Sensory Properties of Functional Biscuits Fortified With Oat Flour. *Annals of Agricultural Science, Moshtohor*. 2022. vol. 60. no. 1. pp. 63-72.
- 17 Farkas A., Szabó E., Horváth A., Jaksics E. et al. Development and application of a laboratory baking test for the characterisation of wholemeal oat flours. *Journal of Cereal Science*. 2023. vol. 114. pp. 103761.
- 18 Tamba-Berehoiu R.M., Cristea S., Negoită M.I.O.A.R.A., Popa C.N. et al. Bread making potential assessment of wheat-oat composite flours. *Romanian Biotechnological Letters*. 2019. vol. 24. no. 3. pp. 522-530.
- 19 Majzoobi M., Raiss Jalali A., Farahnaky A. Impact of whole oat flour on dough properties and quality of fresh and stored part-baked bread. *Journal of Food Quality*. 2016. vol. 39. no. 6. pp. 620-626. doi: 10.1111/jfq.12237
- 20 Abou-Raya M.A., Rabiaie M.M., El-Shazly A.S., El-Fadaly E.S. Effect of adding barley and oat flour on the rheological properties of bread dough. *Journal of Food and Dairy Sciences*. 2014. vol. 5. no. 8. pp. 641-652

Сведения об авторах

Анна Е. Ковалева к.х.н., доцент, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров, Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, a.e.kovaleva@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7807-1755>

Эльвира А. Пьяникова к.т.н., доцент, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров, Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, alia1969@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4424-7323>

Анастасия С. Рязанцева магистр, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров, Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, an.ryazantseva2016@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Евгений Ю. Калугин магистр, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров, Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, zkaluga2412@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Егор Т. Грешилов магистр, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров, Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, egorgreshilov99@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Елена В. Овчинникова к.э.н., доцент, кафедра товароведно-технологических дисциплин, Курский институт кооперации, ул. Радищева, 116, г. Курск, 305004, Россия, e.ov4innikova2011@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6755-2764>

Вклад авторов

Анна Е. Ковалева написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Эльвира А. Пьяникова, Елена В. Овчинникова консультация в ходе исследования

Анастасия С. Рязанцева предложила методику проведения эксперимента и организовала производственные испытания

Евгений Ю. Калугин, Егор Т. Грешилов обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провели эксперимент, выполнили расчёты

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Anna E. Kovaleva Cand. Sci. (Chem.), associate professor, commodity science, technology and examination of goods department, South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040 Russia, a.e.kovaleva@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7807-1755>

Elvira A. Pyanikova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, commodity science, technology and examination of goods department, South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040 Russia, alia1969@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4424-7323>

Anastasia S. Ryazantseva master student, commodity science, technology and examination of goods department, South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040 Russia, an.ryazantseva2016@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Evgeny Yu. Kalugin master student, commodity science, technology and examination of goods department, South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040 Russia, zkaluga2412@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Egor T. Greshilov master student, commodity science, technology and examination of goods department, South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040 Russia, egorgreshilov99@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Elena V. Ovchinnikova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, commodity science and technology disciplines department, Kursk Institute of Cooperation, Radishcheva, 116, Kursk, 305004, Russia, e.ov4innikova2011@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6755-2764>

Contribution

Anna E. Kovaleva wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Elvira A. Pyanikova, Elena V. Ovchinnikova consultation during the study

Anastasia S. Ryazantseva review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Evgeny Yu. Kalugin, Egor T. Greshilov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 29/01/2024	После редакции 14/02/2024	Принята в печать 01/03/2024
Received 29/01/2024	Accepted in revised 14/02/2024	Accepted 01/03/2024

Моделирование распределения кислорода в микрофлюидном реакторе при культивировании стволовых клеток

Анастасия Ю. Рылькова	¹	rylkovanas@mail.ru	 0009-0008-5688-8017
Елена В. Гусева	¹	guseva.e.v@muctr.ru	 0000-0002-6835-4513
Руслан Р. Сафаров	¹	safarov.r.r@muctr.ru	 0000-0002-0342-0049

¹ Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Миусская площадь, 9, г. Москва, 125047, Россия

Аннотация. Микрофлюидные технологии, получившие название «lab on a chip», основаны на работе с небольшим количеством потока жидкости, порядков микро- и нанолитра. Это определяет преимущества их применения по сравнению с объёмными устройствами, а именно возможность в разы снизить расходы реагентов, добиться более точных результатов исследования и безопаснее проводить эксперименты. Математическое моделирование, представляющее собой процесс исследования объекта по его модели, которая является неким аналогом и заменяет объект в ходе исследования, позволяет точно описать процесс и подобрать условия его проведения. Вычислительная гидродинамика (CFD) включает в себя численные методы решения систем уравнений с начальными и граничными условиями (или краевых задач), которые описывают гидродинамические и массообменные процессы и которые в силу своей сложности, как правило, не позволяют получить решение аналитически. Возможность использования данных численных методов представлена в коммерческом пакете программ ANSYS Fluent. С помощью данного программного пакета было проведено математическое моделирование двухканального микрофлюидного элемента, который был использован для культивирования мезенхимальных стволовых клеток, поскольку это одна из актуальных задач биотехнологии в настоящее время. В данной работе были изучены процесс транспорта питательного вещества к клеткам через пористую мембрану, а также поведение потоков питательной среды в каналах устройства. Приведено математическое описание транспорта кислорода в виде систем уравнений с начальными и граничными условиями, которые учитывают проницаемость кислорода через мембрану и кинетику его потребления клетками. Также были выведены уравнения, описывающие динамику потока жидкости, движущегося в каналах микрофлюидного устройства и проходящего через мембрану. Приведены результаты 15 вариантов моделирования гидродинамического режима устройства. Разработанная модель позволяет подбирать оптимальный диапазон рабочих параметров для культивирования различных типов клеток.

Ключевые слова: математическое моделирование, ANSYS Fluent, микрофлюидный элемент, культивирование, гидродинамика, мембрана.

Modeling of the oxygen distribution in a microfluidic reactor during stem cell cultivation

Anastasia Yu. Rylkova	¹	rylkovanas@mail.ru	 0009-0008-5688-8017
Elena V. Guseva	¹	guseva.e.v@muctr.ru	 0000-0002-6835-4513
Ruslan R. Safarov	¹	safarov.r.r@muctr.ru	 0000-0002-0342-0049

¹ D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Miusskaya Square, 9, Moscow, 125047, Russia

Abstract. Microfluidic technologies, called "lab on a chip", are based on working with a small amount of liquid flow, on the order of micro- and nanoliters. This determines the advantages of their use in comparison with volumetric devices, namely, the ability to significantly reduce the cost of reagents, achieve more accurate research results, and make experiments safer. The mathematical modeling, that is a process of researching an object according to its model which is a kind of analogue and replaces it during the research, allows you to accurately describe the process and select the its conditions. Computational fluid dynamics (CFD) includes the numerical methods for solving systems of equations with initial and boundary conditions (or boundary value problems) that describe hydrodynamic and mass transfer processes and that usually do not allow you to get a solution analytically because of their complexity. The possibility of using these numerical methods is presented in the ANSYS Fluent commercial software package. Using this software package the mathematical modeling of a two-channel microfluidic element was carried out, which was used for the cultivation of mesenchymal stem cells, because it is one of the actual problem of biotechnology now. In this work, the process of transport of nutrient to cells through a porous membrane was studied, as well as the behavior of the flows of the nutrient medium in the channels of the device. A mathematical description of transport of oxygen in the form of systems of equations with initial and boundary conditions that consider the permeability of oxygen with the walls of the channels, the transfer of substance through the membrane and the kinetics of its consumption by cells is given. The equations were also derived that describe the dynamics of the fluid flow moving in the channels of the microfluidic device and passing through the membrane. The results of 15 options for modeling the hydrodynamic regime of the device are presented. The developed model makes it possible to select the optimal range of operating parameters for culturing various types of cells.

Keywords: mathematical modeling, ANSYS Fluent, microfluidic element, cultivation, hydrodynamics, membrane.

Для цитирования

Рылькова А.Ю., Гусева Е.В., Сафаров Р.Р. Моделирование распределения кислорода в микрофлюидном реакторе при культивировании стволовых клеток // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 46–55. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-46-55

For citation

Rylkova A.Yu., Guseva E.V., Safarov R.R. Modeling of the oxygen distribution in a microfluidic reactor during stem cell cultivation. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 46–55. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-46-55

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Микрофлюидные технологии, получившие название «lab on a chip», работают с малыми объемами жидкостей порядка микро- и нанолитра. В качестве объекта исследования выступает микрофлюидное устройство, представляющее собой чип, внутри которого расположены каналы микроразмеров.

Данные технологии имеют широкий спектр применения в различных областях науки и промышленности. Они используются в медицинской диагностике [1], фармацевтическом анализе [2], экологическом определении токсичности окружающей среды [3]. Микрофлюидные устройства могут выступать в качестве аналитических устройств [4] и использоваться в синтезе органических и неорганических веществ, которые, к примеру, служат системами доставки лекарственных веществ [5].

Разнообразие применения рассматриваемой технологии обусловлено высокой точностью дозирования потоков в каналы микрофлюидного элемента (чипа) с требуемой скоростью. На данный момент разработана широкая линейка оборудования, в котором можно варьировать скоростью потока от нескольких нанолитров до нескольких литров в минуту [6].

Достоинством работы на флюидном микрореакторе является стабильность условий, что предопределяет высокое качество продукта [7]. Канал чипа представляет собой реактор идеального вытеснения, в котором поток флюида имеет плоский профиль линейных скоростей. В направлении оси потока перемешивание отсутствует, оно есть только в каждом отдельно взятом участке потока. Таким образом, смешивание флюидов происходит через диффузный слой. Такой режим движения потоков позволяет получить полное выравнивание процесса, а именно отсутствие колебаний значений концентрации, температуры, давления и скорости во времени.

В настоящее время в исследованиях, использующих микрофлюидные технологии, встречаются стеклянные, полимерные и металлические чипы [8]. Стекло отлично подходит для проведения различных синтезов. Этот материал является химически стойким, позволяет работать с агрессивными средами и с температурными нагрузками, также главное его преимущество – это возможность многократного использования [9]. В число наиболее часто используемых стекол входит боросиликатное [10], оптическое [11] и кварцевое [12].

Полимерные чипы имеют совершенно другие характеристики. Они не обладают

возможностью в многократном использовании и плохо реагируют на температурные нагрузки [13]. Такие чипы применяются в медицинской диагностике, когда требуется изделие для одноразового использования [14]. Основными материалами полимерных чипов являются полиметилметакрилат [15], циклоолефиновый [16] сополимер, полидиметилсилоксан [17].

Существует ряд научных исследований, где необходимы микрореакторы высокого давления. В таких случаях применяются металлические микрофлюидные чипы, способные выдерживать высокие значения температуры (от -15 до +150 °C) и давления (до 30 бар) [18].

Одной из актуальных областей использования микрофлюидных устройств является процесс культивирования клеток. Это сложный биотехнологический процесс, требующий анализа процессов, происходящих внутри отдельной клетки, изучения механизма потребления субстрата, выделения продуктов метаболизма и поведения клеток в популяции [19]. Кроме того, необходимо решение в конструктивном оформлении оборудования и обеспечение стерильных условий культивирования. Для точного описания процесса и подбора условий его проведения используется математическое моделирование.

На практике бывают ситуации, когда уравнения, описывающие математическую модель, невозможно решить аналитическим способом из-за сложности или объема решаемых уравнений. Для этого может быть применена вычислительная гидродинамика (CFD), которая является одним из разделов механики сплошных сред и имеет расширенный диапазон решаемых задач путем замены уравнений Навье-Стокса дискретными приближениями в точках построенной расчетной сетки [19]. Используя методы конечных разностей или конечных объемов, получают дискретные уравнения, связывающие различные точки сетки вместе. Возможность использования данных методов представлена в коммерческом пакете программ ANSYS Fluent.

Для моделирования объекта методом вычислительной гидродинамики, в первую очередь, необходимо построить геометрическую модель, полностью отражающую геометрические особенности и размеры объекта. Затем строится расчетная сетка, которая распределяется по всей площади и объему объекта. После построения удачно сгенерированной сетки необходимо настроить модель путем выбора методов решения задачи, настройки граничных условий и параметров процесса. И в конце концов происходит решение задачи и анализ полученных результатов [20].

Материалы и методы

В данной работе использовалась модель микрофлюидного устройства для культивирования мезенхимальных стволовых клеток, схема которого представлена на рисунке 1 [21].

Данный микрофлюидный элемент шириной w и длиной L включает в себя два параллельно расположенных канала высотой h_1, h_2 и разделяющую их полупроницаемую мембрану толщиной t и средним диаметром пор $d_{пор}$. В канал I с большей скоростью поступает поток питательной среды, содержащий растворенный кислород. В канал II, на нижней стенке которого находятся клетки в адгезивном состоянии (рисунок 2), поступает поток II с меньшей скоростью без кислорода. Пористая мембрана обеспечивает равномерное распределение кислорода по площади и тем самым его равномерную доставку к клеткам.

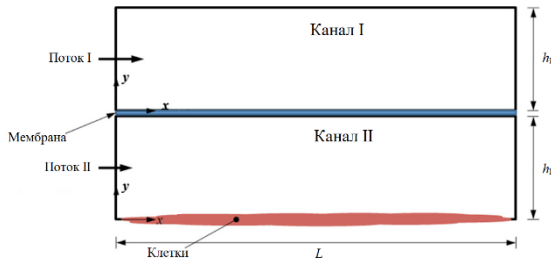


Рисунок 1. Схема микрофлюидного устройства, используемого для культивирования клеток

Figure 1. Scheme of a microfluidic device used for cells cultivation

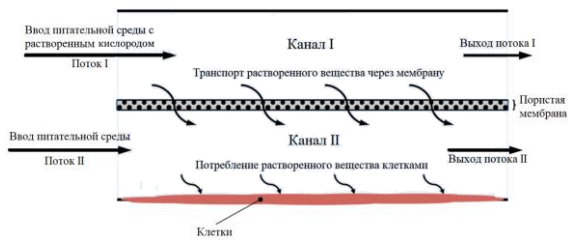


Рисунок 2. Схема движения потоков в микрофлюидном устройстве для культивирования клеток

Figure 2. Scheme of flowrates inside a microfluidic device for cells cultivation

Конструкция данного устройства позволяет обеспечить более высокую растворимость кислорода путем увеличения скорости потока внутри канала I, а затем равномерное распределения потока с кислородом через полупроницаемую мембрану. Создание подобной ситуации в канале II невозможно, поскольку возрастает напряжение сдвига, и при определенной скорости возможен отрыв адгезивных клеток от поверхности и их унос вместе с потоком II.

Уравнения сохранения массы и импульса в векторном виде (1–4) описывают динамику движения потоков в каналах микрофлюидного устройства. Они справедливы для вязкой, несжимаемой жидкости. Вводятся допущения, что плотность и вязкость потока I равны плотности и вязкости потока II, так как кислород оказывает незначительное влияние на физико-химические свойства питательной среды при растворении.

Уравнения сохранения массы в канале I (1) и в канале II (2):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{u}_I) = -J; \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{u}_{II}) = J - I. \quad (2)$$

Уравнения сохранения импульса в канале I (3) и в канале II (4):

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{u}_I}{\partial t} + \nabla \vec{u}_I \vec{u}_I \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{u}_I + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (3)$$

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{u}_{II}}{\partial t} + \nabla \vec{u}_{II} \vec{u}_{II} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{u}_{II} + \rho \vec{g} + \vec{F}, \quad (4)$$

где ∇ – дивергенция; ρ – плотность среды, кг/м³; $\vec{u}_i$ – вектор скорости i -ого потока, м/с; J – поток массы через мембрану, кг/(м²×с); $\nabla \vec{u}_i$ – дивергенция; ∇p – тензор напряжения, Па; μ – динамическая вязкость среды, кг/(м×с); ∇^2 – оператор Лапласа; $\vec{g}$ – ускорение свободного падения, м/с²; $\vec{F}$ – сила трения, кг×м/с²

Поток массы через пористую мембрану равен:

$$J = \frac{\omega A \rho \Delta P}{8 \mu h_m}, \quad (5)$$

где J – поток массы через мембрану, кг/(м²×с); A – площадь поверхности мембраны, м²; ρ – плотность среды, кг/м³; ΔP – перепад давления на мембране, Па; μ – динамическая вязкость среды, кг/(м×с); h_m – толщина мембраны, м.

Процесс транспорта кислорода в микрофлюидном устройстве с мембраной описывается вторым законом Фика. Поток питательной среды поступает в канал ($x = 0$) при определенной концентрации C_0 . Диффузионный поток питательной среды, содержащей растворенный кислород, проходит через мембрану. D_m можно определить как эффективный коэффициент диффузии растворенного кислорода в мембране. Граничные условия в канале I записываются как:

$$\left\{ \begin{array}{l} x=0, y=h_I, t=0: \\ u_I = u_0, C_I = C_0, C_{II} = 0: \\ u_I \frac{\partial C_I}{\partial x} = D_I \frac{\partial^2 C_I}{\partial y^2} = 0, \\ x=0, y=h_M: \\ u_I \frac{\partial C_I}{\partial x} = D_M \frac{\partial^2 (C_{II} - C_I)}{\partial y^2}, \end{array} \right. \quad (6)$$

где u_I, u_{II} – скорость потока I и II в направлении оси x , соответственно, м/с; u_0 – начальная скорость потока, м/с; C_I, C_{II} – концентрация кислорода в канале I и II, соответственно, моль/м³; C_0 – начальная концентрация кислорода, моль/м³; D_I – эффективный коэффициент диффузии для кислорода в питательной среде, м²/с; D_M – эффективный коэффициент диффузии кислорода в мембране, м²/с; h_M – толщина мембраны, м; h_I – высота канала I, м.

На входе в канал II концентрация кислорода принимается, равной нулю. Поток из канала I диффундирует в канал II через мембрану, скорость этого диффузионного потока уравнивается со скоростью потока в канале II. Потребление кислорода клетками можно описать кинетикой Михаэлиса–Ментена, поэтому граничные условия для канала II получаются следующими:

$$\left\{ \begin{array}{l} x=0, y=h_{II}, t=0: \\ u_{II} = 2,5 \times 10^{-4}, C_I = 0, C_{II} = 0: \\ u_{II} \frac{\partial C_{II}}{\partial x} = D_{II} \frac{\partial^2 C_{II}}{\partial y^2} = u_I \frac{\partial C_I}{\partial x} \\ I = V_{\max} \rho_{\text{клеток}} \frac{C_{II}}{K_M + C_{II}}, \end{array} \right. \quad (7)$$

где h_{II} – высота канала II, м; D_{II} – эффективный коэффициент диффузии для кислорода в питательной среде, м²/с; $V_{\max}$ – максимальная скорость потребления кислорода, моль/с; K_M – константа Михаэлиса–Ментена, моль/м³; $\rho_{\text{клеток}}$ – удельная площадь поверхности, занимаемая клетками, клетки/м²; I – поток массы, затрачиваемый на рост клеток, моль/(м²×с).

Была построена двумерная геометрическая модель исследуемого микрофлюидного устройства, имеющая четырехугольную сетку (рисунок 3), состоящую из 69023 узлов и 66000 элементов. Она полностью отражает геометрические параметры реального объекта и разработана при помощи пакета программ ANSYS Fluent.

В таблице 1 приведены основные геометрические параметры микрофлюидного устройства.

Скорость потока в канале II является максимальной допустимой и устанавливается в соответствие предельной величине напряжения сдвига τ , которая зависит от остеогенной дифференцировки стволовых клеток и равна $0,3 \times 10^{-9}$ Па [22].

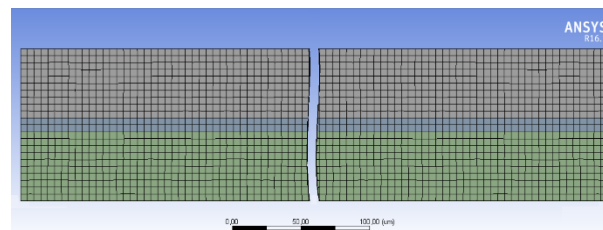


Рисунок 3. Расчетная сетка микрофлюидного устройства с полупроницаемой мембраной

Figure 3. The calculated grid of the microfluidic device with a semipermeable membrane

Таблица 1.

Геометрические параметры микрофлюидного устройства

Table 1.

Geometrical parameters of microfluidic device

Параметр Indicator	Величина Value
Длина устройства, L Device length	1,5 см
Ширина устройства, w Width of the device	200 мкм
Высота I и II каналов, h_I, h_{II} Height of channels I and II	50 мкм
Толщина мембраны, h_M Membrane thickness	10 мкм
Средний диаметр пор мембраны, $d_{\text{пор}}$ Average pore diameter of the membrane	0,8 мкм
Пористость мембраны, ω Membrane porosity	0,158
Коэффициент диффузии кислорода в воде, D Oxygen diffusion coefficient in water	3×10^{-9} м ² /с

При расчете массопереноса кислорода из канала I в канал II необходимо учесть его потребление клетками на нижней стенке канала II в зависимости от плотности посева клеток и соответствующей ей скорости поглощения кислорода, выраженную отношением $V_{\max}/K_M$. В таблице 2 и 3 приведены варианты проведения экспериментальных исследований. Варьируются плотности посева клеток, объемные скорости потоков в каналы и концентрация кислорода на входе в канал I, соответственно.

Таблица 2.

Значения скорости поглощения кислорода клетками в зависимости от плотности посева клеток

Table 2.

Values of oxygen uptake rate by cells depending on the seeding density

Параметр \ Вариант	1	2	3
Плотность посева клеток $\rho_{\text{клеток}}$, клетки/см ²	1×10^3	1×10^5	1×10^6
Скорость поглощения кислорода $V_{\max}/K_M$, см ³ /10 ⁶ клетки×с	5×10^{-5}	1×10^{-4}	2×10^{-4}

Таблица 3.

Варианты исследования роста мезенхимальных стволовых клеток в микрофлюидном устройстве

Table 3.

Variants of studying the growth of mesenchymal stem cells in the microfluidic device

Конфигурация устройства Device configuration	Скорость потока, нл/с Flow rate, nL/s	Концентрация кислорода на входе, ммоль/м ³ Inlet oxygen concentration, mmol/m ³	Вариант Var		
			1	2	3
Один канал One channel	2,5	2,15; 4,30		✓	
	25	2,15		✓	
Два канала Two channels	10	2,15; 4,30	✓	✓	✓
	25		✓	✓	✓
	125		✓	✓	✓

Результаты

1. Микрофлюидный элемент с одним каналом, входная концентрация кислорода 2,15 ммоль/м³. На рисунках 4, 5 приведены результаты расчетов для объемных скоростей потоков на вход 2,5 и 25 нл/с, соответственно.

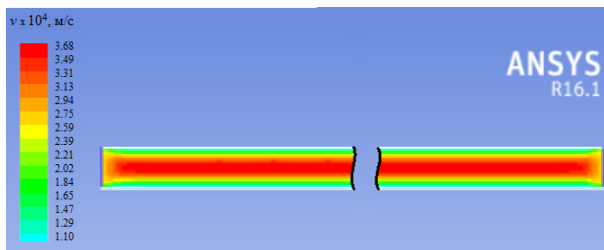


Рисунок 4. Профиль скоростей в канале с объемной скоростью потока питательной среды на входе 2,5 нл/с (конфигурация устройства с одним каналом)

Figure 4. Profile of velocities in the channel with feed flowrate 2.5 nL/s (single channel device configuration)

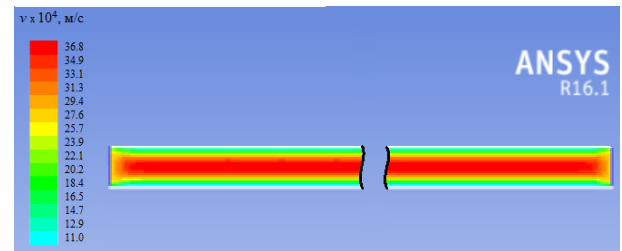


Рисунок 5. Профиль скоростей в канале с объемной скоростью потока питательной среды на входе 25 нл/с (конфигурация устройства с одним каналом)

Figure 5. Profile of velocities in the channel with feed flowrate 25 nL/s (single channel device configuration)

Профили скоростей однородны по всей длине канала, что связано с полностью развитым ламинарным течением внутри него.

На рисунке 6 представлены результаты распределения концентраций кислорода при культивировании клеток в соответствии с вариантом 2. Исходя из данных профилей, можно сделать вывод о том, что при подаче потока питательной среды со скоростью 2,5 нл/с происходит быстрое падение концентрации кислорода в питательной среде и его количества не хватает для роста клеток по всей длине канала. Увеличение скорости потока до 25 нл/с уменьшает это падение, но данная скорость неприемлема, поскольку напряжение сдвига для клеток превышает предельное значение. Клетки могут оторваться от поверхности канала и унести с потоком. Таким образом, одноканальное микрофлюидное устройство, не оснащенное полупроницаемой мембраной, не подходит для данного процесса, и далее будем рассматривать только устройство с двумя каналами.

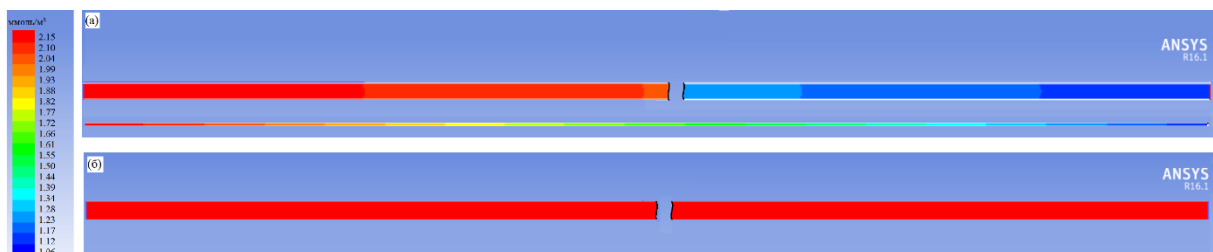


Рисунок 6. Профили распределения концентраций кислорода для варианта 2: (а) – с объемной скоростью потока питательной среды на входе 2,5 нл/с; (б) – с объемной скоростью потока питательной среды на входе 25 нл/с; (конфигурация устройства с одним каналом)

Figure 6. Profiles of oxygen concentration distribution for variant 2: (a) – with feed flowrate 2.5 nL/s; (b) – with feed flowrate 25 nL/s; (single channel device configuration)

2. Микрофлюидный элемент с двумя каналами, входная концентрация кислорода 2,15 ммоль/м³, объемная скорость потока на входе в канал I – 10 нл/с (рисунки 7, 8, 9). Профиль скоростей показан на рисунке 7.

В каналах присутствует полностью развитый ламинарный поток жидкости, в результате чего наблюдается полное выравнивание скоростей потоков по всей длине микрофлюидного устройства.

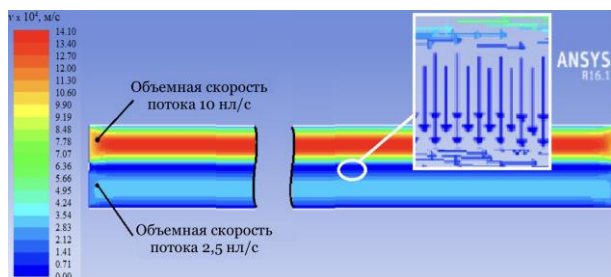


Рисунок 7. Профиль скоростей в каналах с объемной скоростью потока питательной среды на входе в канал I 10 нл/с (конфигурация устройства с двумя каналами и мембраной)

Figure 7. Profile of velocities in the channels with feed flowrate of nutrient medium into the channel I 10 nL/s (device configuration with two channels and a membrane)

3. На рисунке 8 представлен график зависимости концентрации кислорода по длине канала для трех вариантов плотности посева клеток. Для случаев 1 (рисунок 8 красная кривая) и 2 (рисунок 8 зеленая кривая) характерен постоянный линейный профиль распределения с небольшим падением по длине. Максимальное значение концентрации кислорода составило 1,75 ммоль/м³. Из графиков видно, что для первых двух случаев посева клеток кислорода

достаточно. В случае 3 (рисунок 8 синяя кривая) наблюдается сильная нехватка кислорода по всей длине канала.

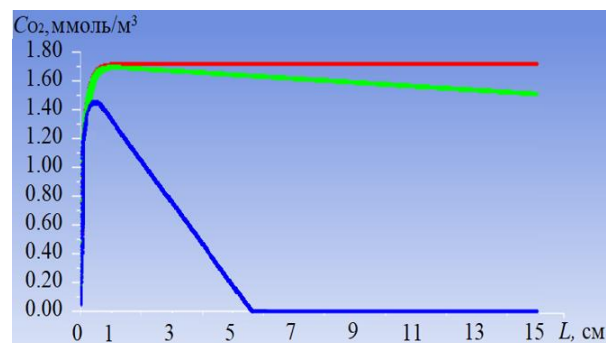


Рисунок 8. График зависимости концентрации кислорода в канале II по длине устройства при объемной скорости потока питательной среды на входе 10 нл/с

Figure 8. Dependence of oxygen concentration plot in channel II along the length of the device at feed flowrate of nutrient medium 10 nL/s

Представленные на рисунке 9 профили распределения концентраций кислорода по длине устройства в канале II для трех различных значений начальной плотности посева клеток подтверждают, что кислорода не хватает для 3-го варианта.

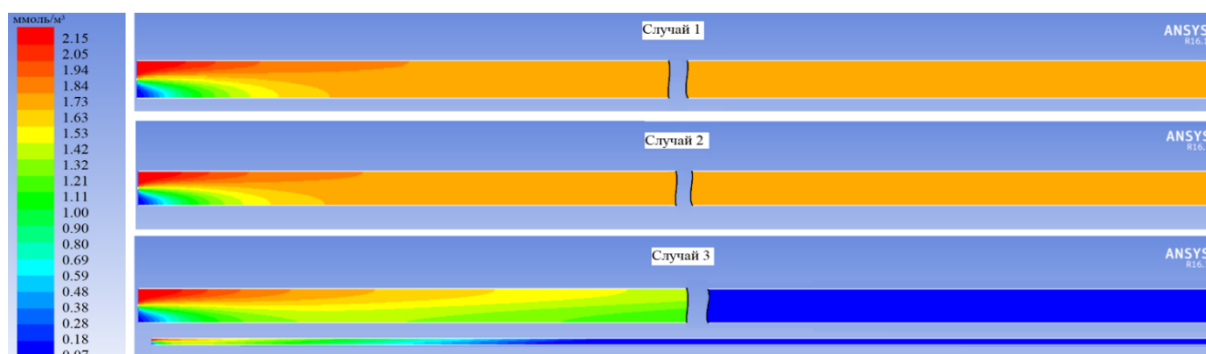


Рисунок 9. Профили распределения концентраций кислорода с объемной скоростью потока питательной среды на входе в канал I 10 нл/с (конфигурация устройства с двумя каналами и мембраной)

Figure 9. Profiles of oxygen concentrations distribution with feed flowrate of nutrient medium into the channel I 10 nL/s (device configuration with two channels and a membrane)

4. Микрофлюидный элемент с двумя каналами, входная концентрация кислорода 2,15 ммоль/м³, объемная скорость потока на входе в канал I – 25 нл/с. Результаты математического моделирования представлены на рисунках 10 – 12. Профиль скоростей показан на рисунке 10, где, как и ранее, присутствует полное выравнивание скоростей по всей длине микрофлюидного устройства.

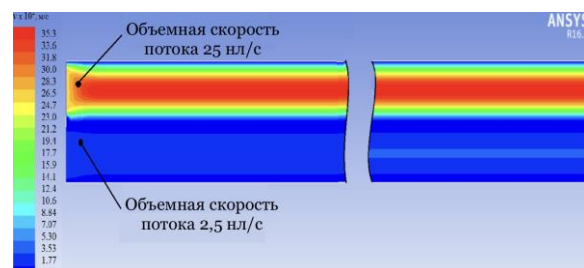


Рисунок 10. Профиль скоростей в каналах с объемной скоростью потока питательной среды на входе в канал I 25 нл/с (конфигурация устройства с двумя каналами и мембраной)

Figure 10. Profile of velocities in the channels with feed flowrate of nutrient medium into the channel I 25 nL/s (device configuration with two channels and a membrane)

На рисунке 11 представлен график зависимости концентрации кислорода в канале II с клетками по длине устройства для всех трех случаев посева. Исходя из графика видно, что для первых двух вариантов (рисунок 11 красная и зеленая кривые) посева клеток концентрации кислорода достаточно, для третьего варианта (рисунок 11 черная кривая) наблюдается ее резкое уменьшение по длине микрофлюидного канала. Поскольку концентрация кислорода не снижается до нулевого уровня, можно говорить о том, что его хватает для жизнедеятельности клеток. Однако, в данном случае не достигается однородности распределения концентрации кислорода по длине микрофлюидного канала.

На рисунке 11 представлено соответствие между расчетными данными (рисунок 11 сплошные кривые) и данными, представленными в статье

(рисунок 11 пунктирные кривые). Относительная ошибка составила 3,3%.

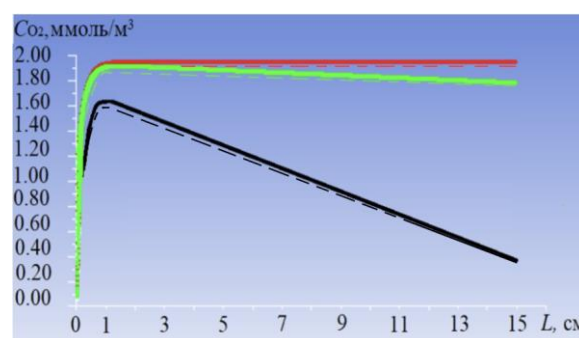


Рисунок 11. График зависимости концентрации кислорода в канале II по длине устройства при объемной скорости потока питательной среды 25 нл/с

Figure 11. Dependence oxygen concentration plot in the channel II along the length of the device at a flow rate of nutrient medium 25 nL/s

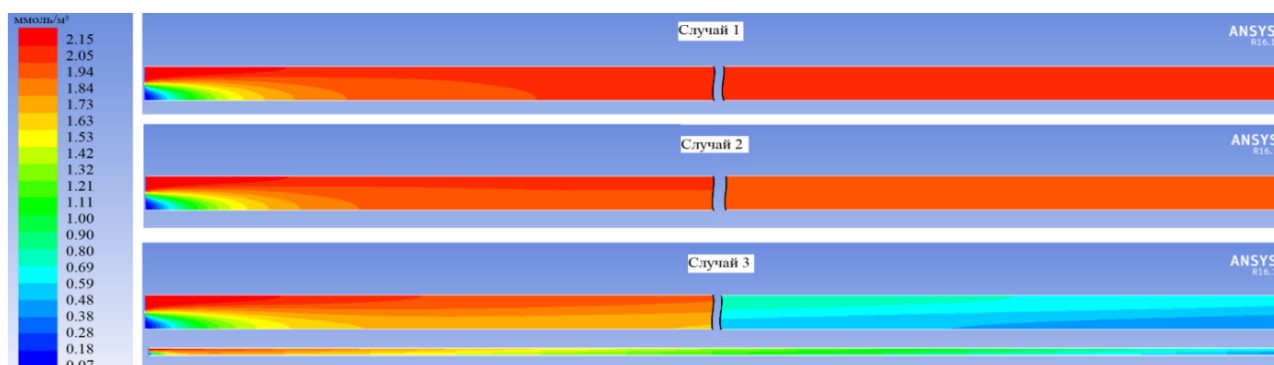


Рисунок 12. Профили распределения концентраций кислорода с объемной скоростью потока питательной среды на входе в канал I 25 нл/с (конфигурация устройства с двумя каналами и мембраной)

Figure 12. Profiles of oxygen concentrations distribution with feed flowrate of nutrient medium into the channel I 25 nL/s (device configuration with two channels and a membrane)

На рисунке 12 представлены профили распределения концентраций кислорода для трех вариантов плотности засева клеток, на основании которых видно распределение концентраций по длине и высоте каналов. Для варианта 1 характерен постоянный линейный профиль распределения, в варианте 2 профиль сохраняется практически постоянным. Содержания кислорода в нижнем канале в первых двух случаях с избытком хватает для роста клеток по всей длине канала. В варианте 3 наблюдается резкое снижение концентрации кислорода по каналу.

Для обеспечения однородности распределения кислорода по длине канала II в микрофлюидном элементе объемная скорость потока в канале I была увеличена в 5 раз и составила 125 нл/с.

5. Микрофлюидный элемент с двумя каналами, входная концентрация кислорода 2,15 ммоль/м³, объемная скорость потока на входе в канал I – 125 нл/с. Профиль скоростей (рисунок 13)

является полностью развитым и ламинарным и равномерно распределен по всей длине устройства.

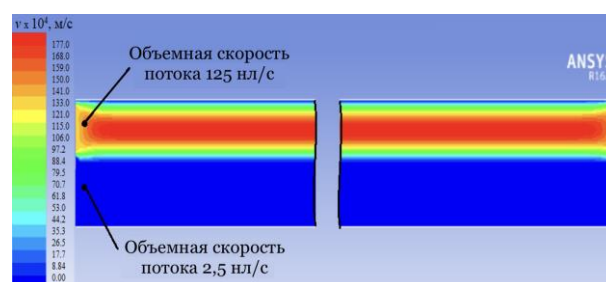


Рисунок 13. Профиль скоростей в каналах с объемной скоростью потока питательной среды на входе в канал I 125 нл/с (конфигурация устройства с двумя каналами и мембраной)

Figure 13. Profile of velocities in the channels with feed flowrate of nutrient medium into the channel I 125 nL/s (device configuration with two channels and a membrane)

На рисунке 14 показан график распределения концентраций кислорода для трех случаев плотности посева клеток. Для вариантов 1 (рисунок 14 красная кривая) и 2 (рисунок 14 зеленая кривая) линейный профиль распределения сохраняется постоянным по всей длине устройства. Увеличение скорости подачи питательной среды в канал I привело к более однородному распределению концентрации кислорода по длине канала для варианта 3 (рисунок 14 синяя кривая), когда наблюдается максимальная плотность засева клеток (рисунок 15). Такое увеличение скорости потока не оказывает влияния на напряжение сдвига, испытываемое клетками, так как канал II с ними защищен от данного потока полупроницаемой мембраной.

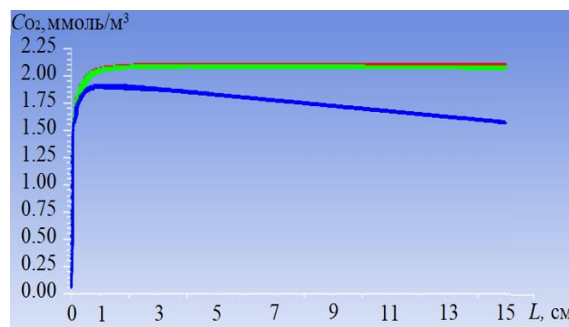


Рисунок 14. График зависимости концентрации кислорода в канале II по длине устройства при объемной скорости потока питательной среды 125 нл/с
Figure 14. Dependence of oxygen concentration plot in the channel II along the length of the device at a flow rate of nutrient medium 125 nL/s

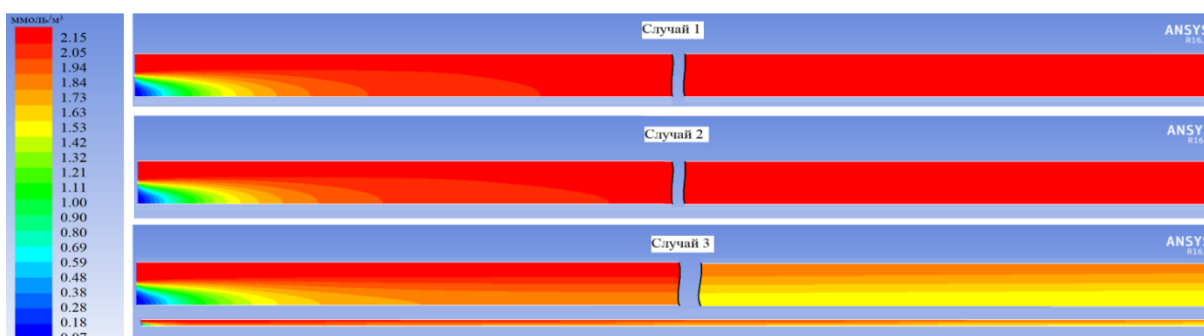


Рисунок 15. Профили распределения концентраций кислорода с объемной скоростью потока питательной среды на входе в канал I 125 нл/с (конфигурация устройства с двумя каналами и мембраной)
Figure 15. Profiles of distribution of oxygen concentrations with feed flowrate of nutrient medium into the channel I 125 nL/s (device configuration with two channels and a membrane)

Таким образом, результаты, представленные на рисунках 4–15, описывают диапазон рабочих параметров, которые позволяют двухканальному микрофлюидному устройству с мембраной обеспечивать равномерный, индивидуально подобранный для различных плотностей засева культивируемых клеток уровень содержания кислорода.

6. Помимо увеличения скорости потока в канале I, для достижения достаточного и более равномерного распределения концентрации кислорода по длине канала II можно увеличить входную концентрацию кислорода в потоке в канал I. Рассмотрим пример расчета микрофлюидного элемента с одним и двумя каналами, входная концентрация кислорода 4,30 ммоль/м³, объемная скорость потока на входе в канал I меняется от 10 до 125 нл/с. Результаты расчета для варианта 2 начального посева клеток приведены на рисунке 16.

Из графика видно, что с увеличением концентрации кислорода в канал I его содержание увеличивается по длине канала. В случае использования двухканального элемента достигается однородное распределение кислорода по длине канала, что способствует равномерному росту клеток в канале II.

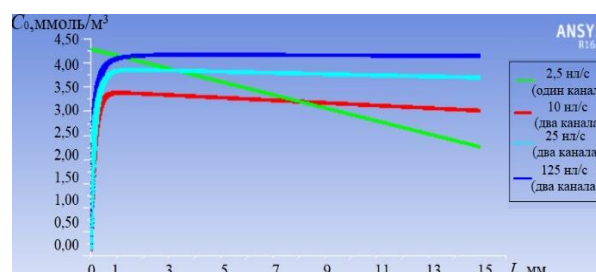


Рисунок 16. График зависимости концентрации кислорода в канале II по длине микрофлюидного устройства для варианта 2 засева клеток при входной концентрации кислорода 4,30 ммоль/м³
Figure 16. Dependence of oxygen concentration plot in the channel II along the length of the device for variant 2 at the input oxygen concentration of 4,30 mmol/m³

Заключение

Таким образом, в ходе данной работы были исследованы процессы, происходящие при культивировании мезенхимальных стволовых клеток в микрофлюидном устройстве, оснащённом полупроницаемой мембраной. Изучен процесс транспорта питательного вещества к клеткам через пористую мембрану и поведение потоков питательной среды в каналах устройства.

Произведено математическое моделирование исследуемого микрофлюидного устройства, модель которого была разработана при помощи пакета программ ANSYS Fluent. Приведены результаты различных вариантов моделирования гидродинамического режима устройства и их

сопоставление с результатами, представленными в статье. Разработанная двумерная модель позволяет подбирать оптимальный диапазон рабочих параметров для культивирования различных типов клеток.

Литература

- 1 Burklund A., Tadimety A., Nie Y., Hao N. et al. Advances in diagnostic microfluidics // *Advances in clinical chemistry*. 2020. V. 95. P. 1–72.
- 2 Cui P., Wang S. Application of microfluidic chip technology in pharmaceutical analysis: A review // *Journal of pharmaceutical analysis*. 2019. V. 9. №. 4. P. 238–247.
- 3 Campana O., Wlodkowic D. The undiscovered country: Ecotoxicology meets microfluidics // *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2018. V. 257. P. 692–704.
- 4 Li M.S., Wong H.L., Ip Y.L., Peng Z. et al. Current and Future Perspectives on Microfluidic Tear Analytic Devices // *ACS sensors*. 2022. V. 7. №. 5. P. 1300–1314.
- 5 Liu Y., Yang G., Hui Y., Ranaweera S. et al. Microfluidic nanoparticles for drug delivery // *Small*. 2022. V. 18. №. 36. P. 2106580.
- 6 Pattanayak P. Singh S.K., Gulati M., Vishwas S. et al. Microfluidic chips: recent advances, critical strategies in design, applications and future perspectives // *Microfluidics and nanofluidics*. 2021. V. 25. P. 1–28.
- 7 Narayanamurthy V. Jeroish Z.E., Bhuvaneshwari K.S., Bayat P. et al. Advances in passively driven microfluidics and lab-on-chip devices: A comprehensive literature review and patent analysis // *RSC advances*. 2020. V. 10. №. 20. P. 11652–11680.
- 8 Nielsen J.B., Hanson R.L., Almughamsi H.M., Pang C. et al. Microfluidics: innovations in materials and their fabrication and functionalization // *Analytical chemistry*. 2019. V. 92. №. 1. P. 150–168.
- 9 Tang T., Yuan Y., Yalikun Y., Hosokawa Y. et al. Glass based micro total analysis systems: Materials, fabrication methods, and applications // *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2021. V. 339. P. 129859.
- 10 Raj P.M., Barbe L., Andersson M., Moreira M.D.A. et al. Fabrication and characterisation of a silicon-borosilicate glass microfluidic device for synchrotron-based hard X-ray spectroscopy studies // *RSC advances*. 2021. V. 11. №. 47. P. 29859–29869.
- 11 Zhang Z., Pan J., Tang Y., Xu Y. et al. Optical micro/nanofibre embedded soft film enables multifunctional flow sensing in microfluidic chips // *Lab on a Chip*. 2020. V. 20. №. 14. P. 2572–2579.
- 12 Guo M., Lu Y., Gan H. Experimental study on micro-grinding and flow characteristics of quartz glass with micro-channel // *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing. 2021. V. 2044. №. 1. P. 012135.
- 13 Scott S.M., Ali Z. Fabrication methods for microfluidic devices: An overview // *Micromachines*. 2021. V. 12. №. 3. P. 319.
- 14 Reyes D.R., van Heeren H., Guha S., Herbertson L. et al. Accelerating innovation and commercialization through standardization of microfluidic-based medical devices // *Lab on a Chip*. 2021. V. 21. №. 1. P. 9–21.
- 15 Ma X., Li R., Jin Z., Fan Y. et al. Injection molding and characterization of PMMA-based microfluidic devices // *Microsystem Technologies*. 2020. V. 26. P. 1317–1324.
- 16 Agha A., Waheed W., Alamoodi N., Mathew B. et al. A review of cyclic olefin copolymer applications in microfluidics and microdevices // *Macromolecular Materials and Engineering*. 2022. V. 307. №. 8. P. 2200053.
- 17 Raj M.K., Chakraborty S. PDMS microfluidics: A mini review // *Journal of Applied Polymer Science*. 2020. V. 137. №. 27. P. 48958.
- 18 Costa Junior J.M., Naveira-Cotta C.P., de Moraes D.B., Inforcatti Neto et al. Innovative metallic microfluidic device for intensified biodiesel production // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2019. V. 59. №. 1. P. 389–398.
- 19 Кафаров В.В., Винаров А.Ю., Гордеев Л.С. Моделирование биохимических реакторов: монография / М.: Лесная промышленность, 1979. 344 С.
- 20 Bhatti M.M., Marin M., Zeeshan A., Abdelsalam S.I. Recent trends in computational fluid dynamics // *Frontiers in Physics*. 2020. V. 8. P. 593111.
- 21 Einarsrud K.E., Loomba V., Olsen J.E. Applied Computational Fluid Dynamics (CFD) // *Processes*. 2023. V. 11. №. 2. P. 461.
- 22 Inamdar N.K., Griffith L.G., Borenstein J.T. Transport and shear in a microfluidic membrane bilayer device for cell culture // *Biomicrofluidics*. 2011. V. 5. №. 2. P. 022213.
- 23 Wang F., Tarkkonen K., Nieminen Pihala V., Nagano K. et al. Mesenchymal cell derived Juxtacrine Wnt1 signaling regulates osteoblast activity and osteoclast differentiation // *Journal of Bone and Mineral Research*. 2019. V. 34. №. 6. P. 1129–1142.

References

- 1 Burklund A., Tadimety A., Nie Y., Hao N. et al. Advances in diagnostic microfluidics. *Advances in clinical chemistry*. 2020. vol. 95. pp. 1–72.
- 2 Cui P., Wang S. Application of microfluidic chip technology in pharmaceutical analysis: A review. *Journal of pharmaceutical analysis*. 2019. vol. 9. no. 4. pp. 238–247.
- 3 Campana O., Wlodkowic D. The undiscovered country: Ecotoxicology meets microfluidics. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2018. vol. 257. pp. 692–704.
- 4 Li M.S., Wong H.L., Ip Y.L., Peng Z. et al. Current and Future Perspectives on Microfluidic Tear Analytic Devices. *ACS sensors*. 2022. vol. 7. no. 5. pp. 1300–1314.
- 5 Liu Y., Yang G., Hui Y., Ranaweera S. et al. Microfluidic nanoparticles for drug delivery. *Small*. 2022. vol. 18. no. 36. pp. 2106580.
- 6 Pattanayak P. Singh S.K., Gulati M., Vishwas S. et al. Microfluidic chips: recent advances, critical strategies in design, applications and future perspectives. *Microfluidics and nanofluidics*. 2021. vol. 25. pp. 1–28.

- 7 Narayanamurthy V. Jeroish Z.E., Bhuvaneshwari K.S., Bayat P. et al. Advances in passively driven microfluidics and lab-on-chip devices: A comprehensive literature review and patent analysis. RSC advances. 2020. vol. 10. no. 20. pp. 11652–11680.
- 8 Nielsen J.B., Hanson R.L., Almughamsi H.M., Pang C. et al. Microfluidics: innovations in materials and their fabrication and functionalization. Analytical chemistry. 2019. vol. 92. no. 1. pp. 150–168.
- 9 Tang T., Yuan Y., Yalikun Y., Hosokawa Y. et al. Glass based micro total analysis systems: Materials, fabrication methods, and applications. Sensors and Actuators B: Chemical. 2021. vol. 339. pp. 129859.
- 10 Raj P.M., Barbe L., Andersson M., Moreira M.D.A. et al. Fabrication and characterisation of a silicon-borosilicate glass microfluidic device for synchrotron-based hard X-ray spectroscopy studies. RSC advances. 2021. vol. 11. no. 47. pp. 29859–29869.
- 11 Zhang Z., Pan J., Tang Y., Xu Y. et al. Optical micro/nanofibre embedded soft film enables multifunctional flow sensing in microfluidic chips. Lab on a Chip. 2020. vol. 20. no. 14. pp. 2572–2579.
- 12 Guo M., Lu Y., Gan H. Experimental study on micro-grinding and flow characteristics of quartz glass with micro-channel. Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing. 2021. vol. 2044. no. 1. pp. 012135.
- 13 Scott S.M., Ali Z. Fabrication methods for microfluidic devices: An overview. Micromachines. 2021. vol. 12. no. 3. pp. 319.
- 14 Reyes D.R., van Heeren H., Guha S., Herbertson L. et al. Accelerating innovation and commercialization through standardization of microfluidic-based medical devices. Lab on a Chip. 2021. vol. 21. no. 1. pp. 9–21.
- 15 Ma X., Li R., Jin Z., Fan Y. et al. Injection molding and characterization of PMMA-based microfluidic devices. Microsystem Technologies. 2020. vol. 26. pp. 1317–1324.
- 16 Agha A., Waheed W., Alamoodi N., Mathew B. et al. A review of cyclic olefin copolymer applications in microfluidics and microdevices. Macromolecular Materials and Engineering. 2022. vol. 307. no. 8. pp. 2200053.
- 17 Raj M.K., Chakraborty S. PDMS microfluidics: A mini review. Journal of Applied Polymer Science. 2020. vol. 137. no. 27. pp. 48958.
- 18 Costa Junior J.M., Naveira-Cotta C.P., de Moraes D.B., Inforcatti Neto et al. Innovative metallic microfluidic device for intensified biodiesel production. Industrial & Engineering Chemistry Research. 2019. vol. 59. no. 1. pp. 389–398.
- 19 Kafarov V.V., Vinarov A.Yu., Gordeev L.S. Modeling of biochemical reactors: monograph / M.: Forest Industry, 1979. pp. 344.
- 20 Bhatti M.M., Marin M., Zeeshan A., Abdelsalam S.I. Recent trends in computational fluid dynamics. Frontiers in Physics. 2020. vol. 8. pp. 593111.
- 21 Einarsrud K.E., Loomba V., Olsen J.E. Applied Computational Fluid Dynamics (CFD). Processes. 2023. vol. 11. no. 2. pp. 461.
- 22 Inamdar N.K., Griffith L.G., Borenstein J.T. Transport and shear in a microfluidic membrane bilayer device for cell culture. Biomicrofluidics. 2011. vol. 5. no.2. pp. 022213.
- 23 Wang F., Tarkkonen K., Nieminen Pihala V., Nagano K. et al. Mesenchymal cell derived Juxtacrine Wnt1 signaling regulates osteoblast activity and osteoclast differentiation. Journal of Bone and Mineral Research. 2019. vol. 34. no. 6. pp. 1129–1142.

Сведения об авторах

Анастасия Ю. Рылькова аспирант, кафедра химического и фармацевтического инжиниринга, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Миусская пл., 9, г. Москва, 125047, Россия, rylkovanas@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0008-5688-8017>

Елена В. Гусева к.т.н., доцент, кафедра химического и фармацевтического инжиниринга, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Миусская пл., 9, г. Москва, 125047, Россия, guseva.e.v@muctr.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6835-4513>

Руслан Р. Сафаров к.т.н., директор департамента научно-технической политики, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Миусская пл., 9, г. Москва, 125047, Россия, safarov.r.r@muctr.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0342-0049>

Вклад авторов

Анастасия Ю. Рылькова написала рукопись, выполнила расчеты, корректировала ее до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Елена В. Гусева обзор литературных источников по исследуемой проблеме, корректировка расчетов

Руслан Р. Сафаров обзор литературных источников по исследуемой проблеме, консультация в ходе исследования

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Anastasia Yu. Rylkova graduate student, chemical and pharmaceutical engineering department, D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Miusskaya sq., 9, Moscow, 125047, Russia, rylkovanas@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0008-5688-8017>

Elena V. Guseva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, chemical and pharmaceutical engineering department, D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Miusskaya sq., 9, Moscow, 125047, Russia, guseva.e.v@muctr.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6835-4513>

Ruslan R. Safarov Cand. Sci. (Engin.), director of science and technical policy, D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Miusskaya sq., 9, Moscow, 125047, Russia, safarov.r.r@muctr.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0342-0049>

Contribution

Anastasia Yu. Rylkova wrote the manuscript, performed computation, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Elena V. Guseva review of the literature on an investigated problem, correction the computation

Ruslan R. Safarov review of the literature on an investigated problem, consultation during the study

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 12/01/2024	После редакции 05/02/2024	Принята в печать 22/02/2024
Received 12/01/2024	Accepted in revised 05/02/2024	Accepted 22/02/2024

Разработка технологии пшенично-тритикалевого хлеба, устойчивого к микробиологической порче

Алексей В. Дранников	¹	drannikov@list.ru	 0000-0002-3060-8688
Александр А. Шевцов	²	shevalol@rambler.ru	 0000-0003-2599-5692
Константин К. Полянский	³	kaf-kit@vfreu.ru	 0000-0002-8817-1466
Яна П. Домбровская	¹	yana_dombrovskaya@inbox.ru	 0000-0003-2363-7648
Анна А. Дерканосова	¹	aa-derk@ya.ru	 0000-0002-9726-9262
Мария С. Колесник	¹	mkolesnik0310@mail.ru	

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

² Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Маршала Неделина, 133, г. Воронеж, 394052, Россия

³ Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова (Воронежский филиал), ул. Карла Маркса, 67А, г. Воронеж, 394030, Россия

Аннотация. Учитывая высокую микробиологическую загрязненность сырья (в основном муки), для производства хлебобулочных изделий, необходимо использовать комплексные технологии, а также продукты, обладающие антибактериальными свойствами для предотвращения развития картофельной болезни. Таким действием обладает трава зверобоя благодаря высокому содержанию веществ, обладающих бактерицидными свойствами, и антиоксидантов. Для лучшего распределения активных составляющих зверобоя в среде хлебопекарного полуфабриката, а также возможности использования его микроколичеств готовили экстракт. При получении экстракта из травы зверобоя предложено заменить воду на водно-медовый раствор. Замена обусловлена богатым химическим составом меда, содержанием в нем сбраживаемых сахаров и бактерицидной активностью, обусловленной содержанием фитонцидов и ферментов, участвующих в окислительных реакциях с высвобождением активного кислорода. Для более интенсивного накопления кислотности экстракт подвергали брожению при помощи молочного продукта, содержащего молочнокислые бактерии, при температуре оптимальной для их действия, и не приводящей к ингибированию ценных компонентов, содержащихся в траве зверобоя и натуральном меде. Для определения рациональной дозировки экстракта проводили пробные лабораторные выпечки хлеба из муки, искусственно зараженной спорными бактериями, из расчета общего содержания 104 спор/г муки, что соответствует содержанию спор в муке непригодной для производства. В опытные пробы вносили экстракт в количестве от 0 до 6,0% к массе муки в тесте. Выпеченный хлеб заворачивали во влажную бумагу и инкубировали в провокационных условиях (температура 37 °С, относительная влажность 85–90%) 48 ч, после чего органолептически определяли в них проявление картофельной болезни. Внесение 6% исследуемого сброженного молочнокислыми бактериями водно-медового экстракта травы зверобоя при замесе теста для пшенично-тритикалевого хлеба, позволяет предотвратить развитие «картофельной болезни» и плесневения, интенсифицировать процесс тестоприготовления, получить готовые изделия с улучшенными органолептическими и физико-химическими показателями качества.

Ключевые слова: пшеничный хлеб, экстракт, зверобой, тритикале, картофельная болезнь хлеба.

Development of technology for wheat-triticale bread resistant to microbiological spoilage

Alexey V. Drannikov	¹	drannikov@list.ru	 0000-0002-3060-8688
Alexander A. Shevtsov	²	shevalol@rambler.ru	 0000-0003-2599-5692
Konstantin K. Polyansky	³	kaf-kit@vfreu.ru	 0000-0002-8817-1466
Iana P. Dombrovskaja	¹	yana_dombrovskaya@inbox.ru	 0000-0003-2363-7648
Anna A. Derkanosova	¹	aa-derk@ya.ru	 0000-0002-9726-9262
Maria S. Kolesnik	¹	mkolesnik0310@mail.ru	

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia

² Military educational and scientific centre of the air force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin, st. Marshala Nedelina, 133, Voronezh, 394052, Russia

³ Russian Economic University named after G.V. Plekhanov (Voronezh branch), st. Karla Marksa, 67A, Voronezh, 394030, Russia)

Abstract. Considering the high microbiological contamination of raw materials (mainly flour), for the production of bakery products, it is necessary to use complex technologies, as well as products with antibacterial properties to prevent the development of potato disease. St. John's wort herb has this effect due to the high content of substances with bactericidal properties and antioxidants. For a better distribution of the active components of St. John's wort in the medium of the semi-finished bakery product, as well as the possibility of using its microquantities, an extract was prepared. When obtaining an extract from the herb St. John's wort, it is proposed to replace the water with a water-honey solution. The replacement is due to the rich chemical composition of honey, its content of fermentable sugars and bactericidal activity due to the content of phytoncides and enzymes involved in oxidative reactions with the release of active oxygen. For more intense accumulation of acidity, the extract was fermented using a dairy product containing lactic acid bacteria, at a temperature optimal for their action, and not leading to inhibition of the valuable components contained in St. John's wort and natural honey. To determine the rational dosage of the extract, test laboratory baking of bread was carried out from flour artificially infected with spore bacteria, based on the total content of 104 spores/g of flour, which corresponds to the content of spores in flour unsuitable for production. The extract was added to the experimental samples in an amount from 0 to 6.0% by weight of flour in the dough. The baked bread was wrapped in damp paper and incubated under provocative conditions (temperature 37 °C, relative humidity 85-90%) for 48 hours, after which the manifestation of potato disease in them was organoleptically determined. The addition of 6% of the studied water-honey extract of the herb St. John's wort, fermented by lactic acid bacteria, when kneading dough for wheat-triticale bread, allows you to prevent the development of "potato disease" and molding, intensify the dough preparation process, and obtain finished products with improved organoleptic and physico-chemical quality indicators.

Keywords: wheat bread, extract, St. John's wort, triticale, potato bread disease.

Для цитирования

Дранников А.В., Шевцов А.А., Полянский К.К., Домбровская Я.П., Дерканосова А.А., Колесник М.С. Разработка технологии пшенично-тритикалевого хлеба, устойчивого к микробиологической порче // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 56–62. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-56-62

For citation

Drannikov A.V., Shevtsov A.A., Polyansky K.K., Dombrovskaja Ya.P., Derkanosova A.A., Kolesnik M.S. Development of technology for wheat-triticale bread resistant to microbiological spoilage. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 56–62. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-56-62

Введение

Основная задача хлебопекарных предприятий – производство высококачественной микробиологически чистой продукции.

Решение этой задачи тесно связано с постоянным входным контролем основного и дополнительного сырья, соблюдением санитарно-гигиенических требований в процессе производства и упаковывания готовой продукции.

Как показали многочисленные исследования, самыми уязвимыми и часто нарушаемыми показателями, как в изделиях, так и в сырье, являются микробиологические показатели. В тесте, помимо дрожжей-сахаромицетов и молочнокислых бактерий, вносимых с прессованными, сухими или жидкими дрожжами и заквасками, встречаются посторонние микроорганизмы.

Учитывая высокую микробиологическую загрязненность сырья (в основном муки), для производства хлебобулочных изделий, необходимо использовать комплексные технологии, а также продукты, обладающие антибактериальными или антибиотическими свойствами для предотвращения развития картофельной болезни. Таким антибактериальным действием обладает трава зверобоя благодаря высокому содержанию веществ, обладающих бактерицидными свойствами (дубильные вещества, фитонциды, флавоноиды, эфирные масла) и антиоксидантов. Химический состав травы зверобоя представлен в таблице 1.

Таблица 1.
Химический состав травы зверобоя

Table 1.
Chemical composition of St. John's wort herb

Дубильные вещества, % Tannins, %	Значение Value
Флавоноиды, % : Flavonoids, % :	12,3
– гиперозид hyperoside	2,0–5,0
– рутин rutin	3,0–4,5
– кверцитрин quercitrin	0,5–0,7
– кверцетин quercetin	0,9–1,2
– изокверцетрин isoquercetin	0,2–0,3
Гликозид, % Glycoside, %	0,1–0,2
Гиперицин, % Hypericin, %	0,6–1,5
Дубильные вещества, % Tannins, %	0,4
Витамины в мг/100 г продукта Vitamins in mg/100 g of product	
А	55,0
С	45,0
Р	32,0
РР	18,0–20,5
Эфирные масла, % Essential oils, %	0,7

Для лучшего распределения активных составляющих зверобоя в среде хлебопекарного полуфабриката, а также возможности использования его микроколичеств готовили экстракт.

Для получения водно-медового экстракта травы зверобоя, сброженного молочнокислыми бактериями *Streptococcus lactis* и *Streptococcus cremoris* (СБВМЭ) использовали мед, измельченную траву зверобоя, сметану 10% жирности, воду питьевую. При получении экстракта из травы зверобоя предложено заменить воду на водно-медовый раствор с концентрацией меда 14%. Замена обусловлена богатым химическим составом меда, содержанием в нем сбраживаемых сахаров и бактерицидной активностью, обусловленной содержанием фитонцидов и ферментов, участвующих в окислительных реакциях с высвобождением активного кислорода. Для более интенсивного накопления кислотности экстракт подвергали брожению при помощи молочного продукта, содержащего в составе молочнокислые бактерии *Streptococcus lactis* и *Streptococcus cremoris*, при температуре оптимальной для их действия, и не приводящей к ингибированию ценных компонентов, содержащихся в траве зверобоя и натуральном меде.

Для окончательного выбора технологии приготовления СБВМЭ травы зверобоя в работе была поставлена задача обоснования оптимальных параметров этой стадии технологического процесса. В результате расчетов найдены оптимальные параметры приготовления СБВМЭ травы зверобоя: соотношение травы зверобоя и водно-медового раствора – 1:20; продолжительность экстрагирования и сбраживания – 7 сут.; температура экстрагирования и сбраживания – 32 °С. Эти значения параметров обеспечивают максимальные значения оптической плотности при заданном интервале температур, а, следовательно, максимальную концентрацию дубильных веществ, по массовой доле которых и судили об эффективности экстракции.

При проведении исследования в качестве контроля выбран хлеб белый из пшеничной муки высшего сорта (ГОСТ 26987–86).

Для определения рациональной дозировки экстракта проводили пробные лабораторные выпечки хлеба из муки, искусственно зараженной спорными бактериями *Bacillus subtilis* и *Bacillus mesentericus*, из расчета общего содержания 104 спор/г муки, что соответствует содержанию спор в муке непригодной для производства. В модельные опытные пробы вносили экстракт в количестве от 0 до 6,0% к массе муки в тесте. Выпеченный хлеб заворачивали во влажную бумагу и инкубировали в провокационных условиях (температура 37 °С, относительная влажность 85–90%) 48 ч, после чего органолептически определяли в них проявление картофельной болезни. Результаты анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Проявление картофельной болезни в исследуемых пробах

Table 2.

Occurrence of potato blight in tested samples

Образец Sample		Проявление картофельной болезни Potato disease manifestation
Контроль (без внесения бактерий) Control		аромат, свойственный хлебу из пшеничной муки высшего сорта; мякиш без признаков заболевания flavor typical of bread made of wheat flour of the highest grade; crumb without signs of disease
Модельные пробы Model samples	Проба 1 (104 спор бактерий/г муки) Sample 1 (104 bacterial spores/g flour)	фруктовый аромат; с липким мякишем fruity flavor; with sticky crumb
	Проба 2 (104 спор бактерий/г муки + 3,0% экстракта) Sample 2 (104 bacterial spores/g flour + 3.0% extract)	легкий фруктовый аромат, изменений мякиша нет light fruity flavor, no changes in the crumb
	Проба 3 (104 спор бактерий/г муки + 6,0% экстракта) Sample 3 (104 bacterial spores/g flour + 6.0% extract)	аромат, свойственный хлебу из пшеничной муки высшего сорта; мякиш без признаков заболевания flavor typical for bread made of wheat flour of the highest grade; crumb without signs of disease

Как видно из таблицы, внесение С6ВМЭ травы зверобоя в дозировке 6,0% к массе муки в тесте хлеб картофельной болезнью не заболел.

Для подтверждения полученных результатов, провели лабораторные выпечки хлеба из неза-
раженной спорowymi бактериями муки. Опытная
проба содержала исследуемый экстракт

в дозировке 6,0% к массе муки в тесте. Контроль
добавки не содержал. Полученные изделия выдер-
живали в нормальных и провоцирующих усло-
виях. Микробиологическое состояние хлеба при
хранении в различных условиях представлено
в таблице 3.

Таблица 3.

Микробиологическое состояние хлеба при хранении в различных условиях

Table 3.

Microbiological condition of bread during storage in different conditions

Хранение в комнатных условиях: (температура воздуха в помещении 21 ± 1 °C) Storage under room conditions: (room temperature 21 ± 1 °C)			Хранение в провоцирующих условиях: (температура 38 °C, влажное обертывание) Storage under provoking conditions: (temperature 38°C, wet wrap)		
Осмотр изделий после хранения, ч Inspection of products after storage, h	Характеристика Characterization		Осмотр изделий после хранения, ч Inspection of products after storage, h	Характеристика Characterization	
	Контроль Control	Опыт Experiment		Контроль Control	Опыт Experiment
24	—	—	24	—	—
48	—	—	48	—	—
72	—	—	72	+Δ	—
96	Δ	—	96	+ +ΔΔ	—
120	ΔΔ	—	120	+ +ΔΔ	—

Обозначения: + – слабое поражение хлеба картофельной болезнью; ++ – выраженное поражение хлеба картофельной болезнью;

Δ – плесневение; ΔΔ – сильное плесневение

Denotations: + - weak lesion of bread by potato disease; ++ - pronounced lesion of bread by potato disease; Δ - molding; ΔΔ - strong molding

Замес теста осуществляли путем смешива-
ния муки пшеничной хлебопекарной высшего
сорта с растворами соли пищевой и дрожжевой
суспензией. Особенностью приготовления опыт-
ной пробы теста является добавление 6,0% водно-
медового экстракта травы зверобоя, сброженного

молочнокислыми бактериями *Streptococcus lactis* и
Streptococcus cremoris. Продолжительность за-
меса теста составляла 7 мин. После чего тесто
направляли на брожение до достижения кис-
лотности 3,0 град.

Таблица 4.

Рецептура для хлеба из пшеничной муки высшего сорта и хлеба

Table 4.

Recipe for top grade wheat flour bread and breads

Сырье Raw materials	Сухие вещества, % Dry matter, %	Расход сырья, г Raw material usage, g			
		Хлеб белый из пшеничной муки высшего сорта (ГОСТ 26987–86) White bread made of wheat flour of the highest grade (GOST 26987-86)		Хлеб пшенично- тритикальный Wheat-triticale bread	
		В натуре In kind	В СВ In DM	В натуре In kind	В СВ In DM
Мука пшеничная хлебопекарная в/с Wheat baking flour b/w	85,50	100,00	85,50	55,00	47,025
Мука тритикальная Triticale flour	85,0	—	—	45	38,25
Дрожжи хлебопекарные прессованные Pressed baking yeast	25,00	2,00	0,40	2,00	0,40
Соль пищевая Food salt	96,50	1,30	1,25	1,30	1,25
Сахар-песок granulated sugar	99,85	1,00	0,99	—	—
С6ВМЭ SbVME	9,70	—	—	6,00	0,58
травы зверобоя St. John's wort herbs	—	56,78	—	52,41	—
Вода Water	—	103,90	88,14	111,90	87,505
Итого Total	—	160,68	—	164,31	—

Заданная общая кислотность теста с фитодобавкой достигается на 60 мин быстрее. Это объясняется тем, что начальная кислотность теста опытной пробы выше контроля за счет внесения экстракта, кислотность которого равна 24 град. Это создает более комфортные условия для действия дрожжевых клеток и молочнокислых бактерий.

Наиболее полное представление о взаимодействии дрожжей со средой их обитания в технологии хлеба дает динамика газообразования полуфабрикатов. Более активно этот процесс протекал в опытной пробе. Это можно объяснить тем, что введение 6,0% СБВМЭ травы зверобоя создает наиболее благоприятные условия для жизнедеятельности микрофлоры теста, так как с ним мы вносим усвояемые сахара, минеральные вещества и витамины, а также дополнительное количество МКБ способствует более интенсивному молочнокислому брожению.

Исследования бродильной активности теста показали улучшающее действие нового компонента. Наиболее активно процесс брожения протекал в опытной пробе. Бродильная активность сразу после замеса составила 19 мин, а в конце брожения – 4 мин. В контрольной эти значения были равны 21 и 7 мин соответственно. Улучшение бродильной активности можно объяснить тем, что внесение СБВМЭ травы зверобоя с содержащимися в нем сахарами, флавоноидами, дубильными веществами и органическими кислотами, позволяет обеспечить оптимальные условия для жизнедеятельности дрожжевых клеток.

Готовые изделия анализировали через 16 ч после выпечки. Лучшие органолептические и физико-химические показатели имел опытный образец хлеба (таблица 5), отличавшийся золотисто-румяной корочкой, эластичным светлым мякишем, более развитой, равномерной, тонкостенной, мелкоячеистой пористостью, ярко выраженным ароматом и удельным объемом.

Таблица 5.
Органолептические и физико-химические показатели качества готовых изделий

Table 5.

Organoleptic and physico-chemical quality indicators of finished products

Показатель Indicator	Хлеб белый из пшеничной муки высшего сорта (ГОСТ 26987–86) White bread made of wheat flour of the highest grade (GOST 26987-86)	Хлеб пшенично- тритикалевый Wheat-triticale bread
Органолептические показатели Organoleptic parameters		
Внешний вид: форма; поверхность; цвет Appearance: shape; surface; color	соответствующая хлебной форме, в которой производилась выпечка, без боковых выплывов; без крупных трещин и подрывов; светло-желтый; corresponding to the bread mold in which it was baked, without side pops; without large cracks or undermining; light yellow;	
Состояние мякиша: пропеченность; промес; пористость Crumb condition: baked; sifted; porosity	пропеченный, не влажный на ощупь, эластичный, после легкого надавливания пальцами мякиш принимает первоначальную форму; без комочков и следов непромеса; развитая, без пустот и уплотнений; baked, not moist to the touch, elastic, after slight pressure with the fingers the crumb takes its original shape; without lumps and traces of unmilled bread; developed, without voids or seals;	
Вкус Taste	свойственный данному виду изделия, сладковатый, без постороннего привкуса peculiar to the type of product, sweetish, without extraneous flavor	
Запах Odor	свойственный данному виду изделий, без постороннего запаха peculiar to this type of product, without foreign odor	
Физико-химические показатели Physico-chemical parameters		
Влажность мякиша, % Crumb moisture, %	42,0	42,0
Кислотность мякиша, град Crumb acidity, deg	3,0	3,0
Пористость мякиша, % Crumb porosity, %	74,0	80,0
Удельный объем хлеба, см ³ /100 г. Specific volume of bread, cm ³ /100 g.	290,0	345,0
Антиоксидантная активность, мг/г Antioxidant activity, mg/g	26,04	34,98

Как видно из таблицы 5, внесение водно-медового экстракта травы зверобоя оказывает положительное влияние на качество готовых изделий.

Для оценки влияния экстракта на сохранение свежести хлеба определяли намокаемость и крошковатость через 3, 16, 32, 48 ч (таблица 6).

Пшенично-тритикалевый хлеб характеризуется пониженной энергетической ценностью (таблица 7).

Таблица 6.

Показатели свежести хлеба

Table 6.

Indicators of bread freshness

Показатель Indicator	Продолжительность хранения, ч Storage time, h	Хлеб белый из пшеничной муки высшего сорта (ГОСТ 26987–86) White bread made of wheat flour of the highest grade (GOST 26987-86)	Хлеб пшенично- тритикальный Wheat-triticale bread
Намокаемость, % Wettability, %	3	220,0	243,4
	16	186,4	236,2
	32	168,9	167,6
	48	153,6	161,3
Крошковатость, % Crumbliness, %	3	3,7	2,1
	16	4,1	2,3
	32	4,3	3,4
	48	5,7	5,1

Таблица 7.

Степень удовлетворения суточной потребности в пищевых веществах при употреблении 100 г. хлеба

Table 7.

Degree of satisfaction of the daily requirement in nutrients when consuming 100 g. of bread

Пищевые вещества Nutrients	Суточная потребность Daily requirement	Содержание пищевых веществ в 100 г продукта Nutrient content in 100 g of the product		Степень удовлетворения суточной потребности, % Degree of satisfaction of daily requirement, %	
		Хлеб белый из пшеничной муки высшего сорта (ГОСТ 26987–86) White bread made of wheat flour of the highest grade (GOST 26987-86)	Хлеб пшенично- тритикальный Wheat-triticale bread	Хлеб белый из пшеничной муки высшего сорта (ГОСТ 26987–86) White bread made of wheat flour of the highest grade (GOST 26987-86)	Хлеб пшенично- тритикальный Wheat-triticale bread
Белок, г Protein, g	75	8,00	7,80	9,20	9,20
Углеводы, г Carbohydrates, g: – легкоусвояемые – крахмал	365	0,20 50,10	3,80 46,67	0,40 11,00	4,50 10,25
Жир, г Fat, g	83	0,84	0,85	0,99	1,02
Клетчатка, г Fiber, g	25	0,10	0,08	0,40	0,32
Минеральные в-ва, мг Mineral substances, mg					
K	3500	98,70	100,20	3,30	2,86
Ca	1000	18,50	20,6	2,10	2,06
Mg	400	13,30	14,30	3,30	3,56
P	1000	69,50	69,50	5,80	6,95
Fe	14	1,20	1,54	6,00	8,42
Витамины, мг Vitamins, mg					
B ₁	1,5	0,14	0,16	7,00	9,40
B ₂	1,8	0,04	0,08	1,60	4,00
B ₃	20,0	1,00	15,55	4,30	66,80
Энергетическая ценность, ккал/кДж Energy value, kcal/KJ	2500/10465	280/1169		258/1081	

Заключение

Анализируя полученные в ходе исследований данные, можно сделать вывод о том, что внесение 6% исследуемого сброженного МКБ *Str.lactis* и *Str.cremoris* водно-медового экстракта травы зверобоя при замесе теста для

пшенично-тритикального хлеба, позволяет предотвратить развитие «картофельной болезни» и плесневения, интенсифицировать процесс тестоприготовления, получить готовые изделия с улучшенными органолептическими и физико-химическими показателями качества.

Литература

- Дранников А.В., Шевцов А.А., Домбровская Я.П., Дерканосова А.А. и др. Способы получения экстракта травы зверобоя для пищевой промышленности // Вестник ВГУИТ. 2022. № 2 (92). С. 147–151. doi: 10.20914/2310-1202-2022-2-147-151
- Drannikov A.V., Dombrovskaya Ya. P., Belokurova E.V., Kitaev D.S. et al. Application of water-honey extract of st. john's wort herb to improve biotechnological and rheological properties of wheat dough // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials (P2ARM 2021). 2022. P. 012030.
- Домбровская Я.П., Дранников А.В., Дерканосова А.А. Научное обеспечение ресурсосберегающей технологии хлеба из пшеничной муки с длительным сроком хранения. Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2022. 109 с.
- Пат. № 2779151, RU, A 23 L 1/00. Способ приготовления экстракта травы зверобоя, сброженного молочнокислыми бактериями 6 и технологическая линия для его осуществления / Шевцов А.А., Дранников А.В., Дерканосова А.А., Домбровская Я.П., Торшина А.А. № 2021128746; заявл. 01.10.2021; опубл. 31.08.2022.
- Борисенко Д.В., Пашченко В.Л. Разработка технологии пшеничного хлеба устойчивого к микробиологической порче // Инновационные решения при производстве продуктов питания из растительного сырья. 2014. С. 309-309.
- Невская Е.В., Шлеленко Л.А., Борисова А.Е., Быковченко Т.В. и др. Разработка технологии приготовления закваски на основе *Lactobacillus acidophilus* для хлебобулочных изделий из смеси ржаной и пшеничной муки // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. 2015. Т. 1. №. 8. С. 773-775.
- Кузнецова Л.И., Савкина О.А., Дубровская Н.О., Парахина О.И. и др. Роль биологических заквасок в технологии безглютеновых хлебобулочных изделий // Хлебопродукты. 2020. №. 9. С. 43-47.
- Барышникова Н.И., Резниченко И.Ю., Вайскрובה Е.С. Разработка системы управления безопасностью на основе принципов ХАССП при производстве хлеба из пшеничной муки // Техника и технология пищевых производств. 2017. Т. 47. №. 4. С. 115-122.
- Жаркова И.М., Сафонова Ю.А. Обоснование рациональной дозировки закваски "Эвиталя" для безглютенового хлеба из амарантовой муки // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. №. 3 (89). С. 174-181.
- Тюрина И.А., Невская Е.В., Борисова А.Е. Разработка ассортимента хлебобулочных изделий для питания военнослужащих с длительными сроками годности // Качество зерна, муки и хлеба. 2019. С. 93-97.
- Terentyev S.E., Goncharova N.Z., Vorobeve E.S. High technologies for the therapeutic bread production with the use of triticale flour // AIP Conference Proceedings. AIP Publishing, 2022. V. 2661. №. 1. doi: 10.1063/5.0107864
- Kandrokov R.H., Pankratov G.N. Development of an efficient technological scheme for triticale grain processing into graded bread flour // Russian Agricultural Sciences. 2019. V. 45. P. 216-219.
- Kandrokov R.H., Pankratov G.N., Meleshkina E.P., Vitol I.S. et al. Effective technological scheme for processing triticale (*Triticosecale* L.) grain into graded flour // Foods and Raw Materials. 2019. V. 7. №. 1. P. 107-117.
- Fraś A., Gołębiewska K., Gołębiewski D., Mańkowski D.R. et al. Variability in the chemical composition of triticale grain, flour and bread // Journal of Cereal Science. 2016. V. 71. P. 66-72. doi: 10.1016/j.jcs.2016.06.016
- Randhawa H.S., Bona L., Graf R.J. Triticale breeding – Progress and prospect // Triticale. 2015. P. 15-32.
- Sheikhholeslami Z., Mahfouzi M., Karimi M., Hejrani T. et al. Evaluating the traditional bread properties with new formula: Affected by triticale and cress seed gum // Food Science and Technology International. 2021. V. 27. №. 5. P. 413-425. doi: 10.1177/108201322096177
- Roman K., Georgiy P., Elena M., Irina V. et al. Effective technological scheme for processing Triticale (*Triticosecale* L.) grain into graded flour // Foods and Raw materials. 2019. V. 7. №. 1. P. 107-117.
- Camerlengo F., Kiszona A. M. Genetic factors influencing triticale quality for food // Journal of Cereal Science. 2023. P. 103744. doi: 10.1016/j.jcs.2023.103744
- Galoburda R., Straumite E., Sabovics M., Kruma Z. Dynamics of volatile compounds in triticale bread with sourdough: From flour to bread // Foods. 2020. V. 9. №. 12. P. 1837. doi: 10.3390/foods9121837
- Kandrokov R.K., Kusova I.U., Ryndin A.A., Berezina N.A. et al. Technological Properties of Wheat-Triticale-Rye Flour // Biomedical Journal of Scientific & Technical Research. 2021. V. 39. №. 3. P. 31372-31378. doi: 10.26717/BJSTR.2021.39.006305

References

- Drannikov A.V., Shevtsov A.A., Dombrovskaya Ya.P., Derkanosova A.A. and others. Methods for obtaining St. John's wort extract for the food industry. Proceedings of VSUET. 2022. no. 2 (92). pp. 147–151. doi: 10.20914/2310-1202-2022-2-147-151 (in Russian).
- Drannikov A.V., Dombrovskaya Ya. P., Belokurova E.V., Kitaev D.S. et al. Application of water-honey extract of st. john's wort herb to improve biotechnological and rheological properties of wheat dough. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials (P2ARM 2021). 2022. pp. 012030. (in Russian).
- Dombrovskaya Ya.P., Drannikov A.V., Derkanosova A.A. Scientific support for resource-saving technology for bread made from wheat flour with a long shelf life. Voronezh, Voronezh State University of Engineering Technologies, 2022. 109 p. (in Russian).
- Shevtsov A.A., Drannikov A.V., Derkanosova A.A., Dombrovskaya Ya.P., Torshina A.A. Method of preparation of St. John's wort herb extract fermented with lactic acid bacteria 6 and technological line for its implementation. Patent RF, no. 2779151, 2022.
- Borisenko D.V., Pashchenko V.L. Development of technology for wheat bread resistant to microbiological spoilage. Innovative solutions in the production of food products from plant raw materials. 2014. pp. 309-309. (in Russian).
- Nevskaya E.V., Shlelenko L.A., Borisova A.E., Bykovchenko T.V. and others. Development of technology for preparing sourdough based on *Lactobacillus acidophilus* for bakery products from a mixture of rye and wheat flour. Collection of scientific papers of the All-Russian Scientific Research Institute of Sheep and Goat Breeding. 2015. vol. 1. no. 8. pp. 773-775. (in Russian).
- Kuznetsova L.I., Savkina O.A., Dubrovskaya N.O., Parakhina O.I. et al. The role of biological starters in the technology of gluten-free bakery products. Bread products. 2020. no. 9. pp. 43-47. (in Russian).

Baryshnikova N.I., Reznichenko I.Yu., Vaiskrobova E.S. Development of a safety management system based on HACCP principles in the production of bread from wheat flour. Equipment and technology of food production. 2017. vol. 47. no. 4. pp. 115-122. (in Russian).

Zharkova I.M., Safonova Yu.A. Justification for the rational dosage of the "Evitalia" starter for gluten-free bread made from amaranth flour. Proceedings of VSUET. 2021. vol. 83. no. 3 (89). pp. 174-181. (in Russian).

Tyurina I.A., Nevskaya E.V., Borisova A.E. Development of an assortment of bakery products for military personnel with long shelf life. Quality of grain, flour and bread. 2019. pp. 93-97. (in Russian).

Terentyev S.E., Goncharova N.Z., Vorobeva E.S. High technologies for the therapeutic bread production with the use of triticale flour. AIP Conference Proceedings. AIP Publishing, 2022. vol. 2661. no. 1. doi: 10.1063/5.0107864

Kandrokov R.H., Pankratov G.N. Development of an efficient technological scheme for triticale grain processing into graded bread flour. Russian Agricultural Sciences. 2019. vol. 45. pp. 216-219.

Kandrokov R.H., Pankratov G.N., Meleshkina E.P., Vitol I.S. et al. Effective technological scheme for processing triticale (Triticosecale L.) grain into graded flour. Foods and Raw Materials. 2019. vol. 7. no. 1. pp. 107-117.

Fraś A., Gołębiewska K., Gołębiewski D., Mańkowski D.R. et al. Variability in the chemical composition of triticale grain, flour and bread. Journal of Cereal Science. 2016. vol. 71. pp. 66-72. doi: 10.1016/j.jcs.2016.06.016

Randhawa H.S., Bona L., Graf R.J. Triticale breeding – Progress and prospect. Triticale. 2015. pp. 15-32.

Sheikholeslami Z., Mahfouzi M., Karimi M., Hejrani T. et al. Evaluating the traditional bread properties with new formula: Affected by triticale and cress seed gum. Food Science and Technology International. 2021. vol. 27. no. 5. pp. 413-425. doi: 10.1177/108201322096177

Roman K., Georgiy P., Elena M., Irina V. et al. Effective technological scheme for processing Triticale (Triticosecale L.) grain into graded flour. Foods and Raw materials. 2019. vol. 7. no. 1. pp. 107-117.

Camerlengo F., Kiszona A. M. Genetic factors influencing triticale quality for food. Journal of Cereal Science. 2023. pp. 103744. doi: 10.1016/j.jcs.2023.103744

Galoburda R., Straumite E., Sabovics M., Kruma Z. Dynamics of volatile compounds in triticale bread with sourdough: From flour to bread. Foods. 2020. vol. 9. no. 12. pp. 1837. doi: 10.3390/foods9121837

Kandrokov R.K., Kusova I.U., Ryndin A.A., Berezina N.A. et al. Technological Properties of Wheat-Triticale-Rye Flour. Biomedical Journal of Scientific & Technical Research. 2021. vol. 39. no. 3. pp. 31372-31378. doi: 10.26717/BJSTR.2021.39.006305

Сведения об авторах

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

<https://orcid.org/0000-0002-3060-8688>

Александр А. Шевцов д.т.н., профессор, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, shevalol@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2599-5692>

Константин К. Полянский д.т.н., профессор, кафедра коммерции и товароведения, Воронежский филиал Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова, Карла Маркса, 67А, Воронеж, 394030, Россия, kaf-kit@vfreu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8817-1466>

Яна П. Домбровская к.т.н., доцент, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, yana_dombrovskaya@inbox.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2363-7648>

Анна А. Дерканосова д.т.н., профессор, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, aa-derk@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9726-9262>

Мария С. Колесник техник, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, mkolesnik0310@mail.ru

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Alexey V. Drannikov Dr. Sci. (Engin.), professor, machines and apparatuses for food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, drannikov@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3060-8688>

Alexander A. Shevtsov Dr. Sci. (Engin.), professor, Military educational and scientific centre of the air force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin, st. Marshala Nedelina, 133, Voronezh, 394052, Russia, shevalol@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2599-5692>

Konstantin K. Polyansky Dr. Sci. (Engin.), professor, commerce and commodity science department, Voronezh branch of the Russian Economic University named after G.V. Plekhanov, Karla Marksa, 67A, Voronezh, 394030, Russia, kaf-kit@vfreu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8817-1466>

Iana P. Dombrovskaya Cand. Sci. (Engin.), associate professor, machines and apparatuses for food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, yana_dombrovskaya@inbox.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2363-7648>

Anna A. Derkanosova Dr. Sci. (Engin.), professor, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, aa-derk@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9726-9262>

Maria S. Kolesnik technician, machines and apparatuses for food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, mkolesnik0310@mail.ru

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 16/01/2024	После редакции 02/02/2024	Принята в печать 06/02/2024
Received 16/01/2024	Accepted in revised 02/02/2024	Accepted 06/02/2024

Исследование морфофизиологических свойств дрожжей, перспективных для производства этанола

Светлана Г. Давыденко ¹	davydenko@baltika.com	 0000-0001-8005-4743
Татьяна В. Меледина ²	meledinata@ya.ru	 0000-0001-748502802
Анастасия Андреева ²	aandreeva@itmo.ru	 0000-0001-6179-2265

1 ООО «Пивоваренная компания «Балтика», 194292, Санкт-Петербург, 6-й Верхний пер., 3

2 Университет ИТМО, 191 002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Аннотация. Этиловый спирт является востребованным сырьем в различных отраслях народного хозяйства, в частности в пищевой промышленности, медицине, косметологии. В последнее время, в связи с необходимостью снизить нагрузку на экологию, этанол используют в качестве топлива, частично заменяя бензин и дизельное топливо в двигателях внутреннего сгорания. Кроме того, для многих стран, которые имеют дефицит углеродных ископаемых, замена части бензина на этанол является решением проблемы снижения себестоимости топлива. В настоящее время 95% этанола, производимого из растительного сырья, заменяет 32% бензина. В результате проведенной работы было установлено, что для оценки влияния этанола на физиологическую активность дрожжей следует использовать различные методы контроля. Так, отсутствие мертвых клеток в культуре, как показали полученные данные, не могут в полной мере объяснить метаболическую активность дрожжей в среде с этанолом. По всей видимости интенсивность этанольного стресса связана со сложными, генетически обусловленными процессами, например, активацией развернутого белкового ответа и изменением активности ферментов ЭПР. Сравнение интенсивности размножения двух штаммов спиртовых дрожжей указывают на необходимость изучения их флокуляционной активности. Кроме того, при инокуляции среды следует учитывать различия в размере клеток разных культур, которые могут существенно отличаться. Например, дрожжи штамма C16 больше по размеру клеток штамма C48 на 33%. При сравнительной оценке штаммов следует использовать только количественное определение концентрации клеток в посевном материале, а не массовую долю биомассы в нем.

Ключевые слова: дрожжи, этанол, морфология, стабильность, клетка.

Investigation of morphophysiological properties of yeast promising for ethanol production

Svetlana G. Davydenko ¹	davydenko@baltika.com	 0000-0001-8005-4743
Tatiana V. Meledina ²	meledinata@ya.ru	 0000-0001-748502802
Anastasia Andreeva ²	aandreeva@itmo.ru	 0000-0001-6179-2265

1 Baltika Brewing Company, 194292, St. Petersburg, 6th Upper Lane, 3

2 ITMO University, 9 Lomonosova str., Saint Petersburg, 191 002

Abstract. Ethyl alcohol is a sought-after raw material in various sectors of the national economy, in particular in the food industry, medicine, and cosmetology. Recently, due to the need to reduce the burden on the environment, ethanol is used as a fuel, partially replacing gasoline and diesel fuel in internal combustion engines. In addition, for many countries that have a carbon deficit, replacing part of gasoline with ethanol is a solution to the problem of reducing fuel costs. Currently, 95% of ethanol produced from vegetable raw materials replaces 32% of gasoline. As a result of the work, it was found that to assess the effect of ethanol on the physiological activity of yeast, various control methods should be used. Thus, the absence of dead cells in the culture, as shown by the data obtained, cannot fully explain the metabolic activity of yeast in a medium with ethanol. Apparently, the intensity of ethanol stress is associated with complex, genetically determined processes, for example, activation of an extensive protein response and changes in the activity of ER enzymes. Comparison of the reproduction intensity of two strains of alcoholic yeast indicates the need to study their flocculation activity. In addition, when inoculating the medium, one must take into account the differences in cell size between different cultures, which can vary significantly. For example, yeast strain C16 is 33% larger than cells of strain C48. When comparatively assessing strains, only the quantitative determination of the concentration of cells in the inoculum should be used, and not the mass fraction of biomass in it.

Keywords: yeast, ethanol, morphology, stability, cell.

Введение

Для производства этанола используется быстро возобновляемое растительное сырье или отходы пищевых предприятий [3–5]. Разрабатываются технологии получения этанола из лигнин содержащих отходов после переработки

древесины [6, 7], а также бытовых углеводсодержащих отходов [8]. Появляются работы, в которых предлагают получать этанол из различных экзотических для Российской Федерации растений [9]. Не зависимо от источника сырья в технологии производства биоэтанола обязательной стадией является ферментация

Для цитирования

Давыденко С.Г., Меледина Т.В., Андреева А. Исследование морфофизиологических свойств дрожжей, перспективных для производства этанола // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 63–69. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-63-69

For citation

Davydenko S.G., Meledina T.V., Andreeva A. Investigation of morphophysiological properties of yeast promising for ethanol production. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 63–69. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-63-69

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

гидролизатов, содержащих редуцируемые сахара [10]. Количество сбраживаемых дрожжами углеводов в них колеблется от 0,7 г/л [6] до 138 г/л [10]. Именно поэтому меласса, содержащая до 50 % сахарозы, по-прежнему является перспективным сырьем. Важно, что именно благодаря высокому содержанию сахарозы можно эффективно перерабатывать высококонцентрированные среды [2, 11]. Так, выделенные Саидом Кешкаром с поверхности ягод винограда дрожжи *Hanseniaspora opuntiae* способны расти в среде, содержащей 50 % глюкозы. Установлено, что данный вид дрожжей является спиртоустойчивым и может продуцировать до 21 % этанола [12, 13]. По всей видимости и среди дрожжей сахаромикетов могут быть штаммы, которые значительно повысят выход этанола. Эти дрожжи должны характеризоваться осмо- и спирто – устойчивостью [1, 14–17].

Цель работы – исследовать морфобиологические свойства и спирто-устойчивость дрожжей сахаромикетов, применяемых в различных биотехнологических процессах.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись: штаммы спиртовых дрожжей C16, C25, C48 *Saccharomyces cerevisiae* из коллекции университета ИТМО; пекарские дрожжи штамм RCAM 02150 из коллекции ВКПМ (Москва).

Идентификация штаммов дрожжей методом ПЦР. Проведение ПЦР в реальном времени с последующим анализом кривых плавления высокого разрешения (HRM анализ) проводили на амплификаторе CFX96 BioRad. Реакционная смесь объемом 20 мкл содержала 10,0 мкл Master Mix, 2х концентрации с красителем Sybr Green, MgCl₂ концентрацией 2,5 мМ производства ООО «Бигль». Использовали праймеры ITS1 и ITS4 в концентрации 0,3 мМ

ООО «Бигль» и 1,5 мкл выделенной ДНК исследуемых штаммов [18, 19].

Условия ПЦР включали предварительную денатурацию при 95 °С – 420 с. и 45 циклов амплификации (60 °С – 15 с., 72 °С – 15 с., 95 °С – 15 с.). Режим HRM -20 чтений на 1 °С.

На рисунке 1 изображена кривая температуры плавления контрольного образца, в котором отсутствуют дрожжи, соответственно отсутствуют и пики плавления ДНК (черная линия).

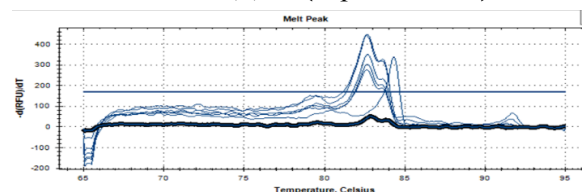


Рисунок 1. Кривая температур плавления (негативный контроль)

Figure 1. Melting temperature curve (negative control)

Результаты

Первоначальной задачей стояла оценка физиологической активности дрожжей. Для определения физиологической активности дрожжей был использован экспресс-метод С.Г. Давыденко, который дает возможность количественной оценки спиртоустойчивости и отбора перспективных штаммов для производства [20; 21]. Согласно методике, питательная среда для культивирования дрожжей содержала раствор глюкозы и восьмикратную среду YEP (8 x YEP), в состав которой входили 16% пептон и 8% дрожжевой экстракт. Количество глюкозы во всех вариантах опыта составляло 0,5 мл, среды 8 x YEP 0,25 мл, дрожжевой суспензии 10 x 10⁷ клеток / мл – 0,5 мл. Количество воды и этанола вносили в зависимости от цели исследования (таблица 1). Общий объем суспензии в шприцах составлял 2 мл.

Для инокуляции использовали суспензию чистой культуры дрожжей исследуемых штаммов. План эксперимента по изучению влияния этанола на физиологию дрожжей приведен в таблице 1.

Таблица 1.

План эксперимента по изучению влияния этанола в концентрации 10% на физиологию дрожжей

Table 1.

The plan of the experiment to study the effect of ethanol at a concentration of 10% on the physiology of yeast

Образец Sample	Глюкоза, 40% Glucose, 40%	8 x YEP	Дрожжевая суспензия 10 x 10 ⁷ клеток/мл Yeast suspension of 10 x 10 ⁷ cells/ml	H ₂ O	Этанол Ethanol
Контроль Control	0,5	0,25	0,5	0,75	0
10% этанола 10% ethanol	0,5	0,25	0,5	0,55	0,2

Полученные растворы перемешивали, набирали в шприц вместимостью 10 мл, герметично запаивали его нижний конец. Культивирование длилось 17 ч при температуре 30 °С.

Во время брожения дрожжи производили углекислый газ, который при выделении поднимал поршень шприца. Объем выделившегося газа оценивали по высоте подъема поршня.

Метаболическую активность штаммов сравнивали по количеству выделившегося диоксида углерода.

Определение концентрации мертвых клеток. Для определения концентрации мертвых клеток содержимое шприцов выливали в пробирки и центрифугировали в течение 3 минут. После центрифугирования из пробирок удаляли супернатант, в дрожжевой осадок добавляли воду до начального объема пробы. Далее окрашивание клеток метиленовым синим проводили согласно [20].

Идентификация спиртовых дрожжей с помощью метода ПЦР. В качестве эталона был взят штамм пекарских дрожжей RCAM 02150, который принадлежит к виду *Saccharomyces cerevisiae*. На рисунке 2 показана кривая температуры плавления ПЦР фрагмента между участками ITS1 и ITS4 рибосомальной ДНК для дрожжей этого штамма. Выявлены 2 пика с температурами плавления 83,6 °C и 82,7 °C.

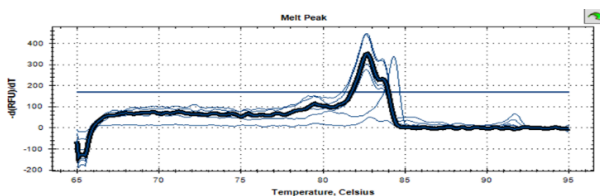


Рисунок 2. Кривая температуры плавления RCAM 02150
Figure 2. Melting temperature curve RCAM 02150

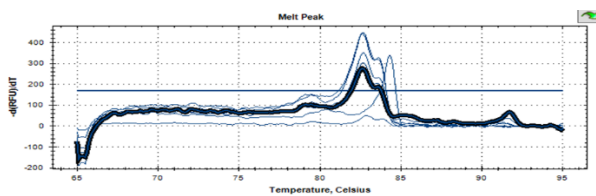


Рисунок 3. Кривая температуры плавления штамма C 16
Figure 3. Melting point curve of strain C 16

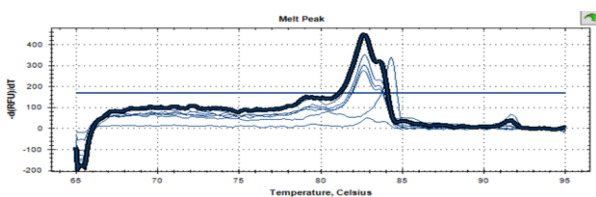


Рисунок 4 – Кривая температуры плавления штамма C25
Figure 4 – Melting point curve of strain C25

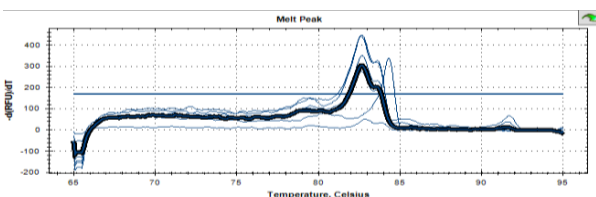


Рисунок 4. Кривая температуры плавления дрожжей C48
Figure 4. Melting point curve of strain C48

Как видно на рисунках 3–5, кривые плавления для дрожжей штаммов C16, C 25 и C48 имели такой же профиль, как и пекарские дрожжи.

Можно сделать вывод о близком таксономическом родстве всех проанализированных штаммов.

На рисунке 6 приведены результаты эксперимента, в котором концентрация этанола в опытных образцах составляла 10%. Видно, что снижение выделения углекислого газа особенно выражено у спиртовых штаммов C48 и C16.

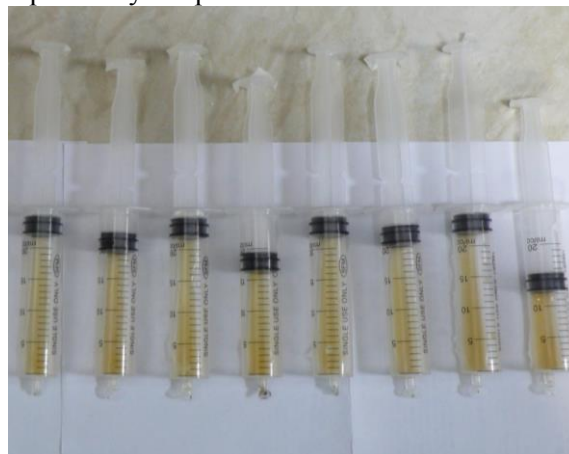


Рисунок 5. Внешний вид шприцов после 17 ч культивирования при 300 °C (1 – штамм RCAM 02150 контроль, 2 – RCAM 02150 опыт, 3 – C48 контроль, 4 – C48 опыт, 5 – C25 – контроль, 6 – C25 опыт, 7 – C16 контроль, 8 – C 16 опыт)

Figure 5. Appearance of syringes after 17 hours of cultivation at 300 °C (1 – strain Rcam 02150 control, 2 – Rcam 02150 experience, 3 – C48 control, 4 – C48 control, 5-C25 control, 6 – C25 control, 7 – C16 control, 8 – C16 experience)

Токсичное действие этанола на физиологическое состояние дрожжей определяли по содержанию мертвых клеток путем окрашивания метиленовым синим и по количеству выделившегося диоксида углерода.

На рисунке 7 видно, что все образцы дрожжей имеют высокую жизнеспособность, так как количество мертвых клеток в конце процесса культивирования не превышает 3%. Обращает на себя внимание различия в размерах клеток изучаемых штаммов дрожжей (рисунки 8–11). Максимальный размер имеют клетки пекарских дрожжей (9 мкм), минимальный – дрожжи C48. Анализ морфологической картины показывает, что все образцы спиртовых дрожжей имеют округлую форму, в то время как для пекарских дрожжей характерна округло-овальная форма.

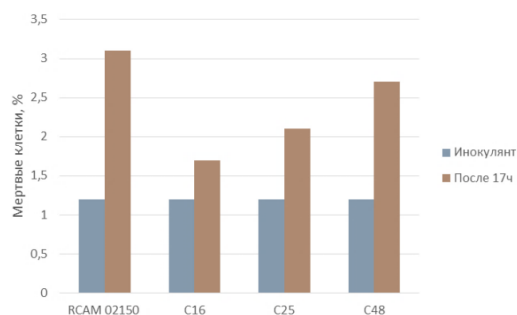


Рисунок 6. Содержание мертвых клеток после 17 ч культивирования при 30 °С

Figure 6. The content of dead cells after 17 hours of cultivation at 30 °С

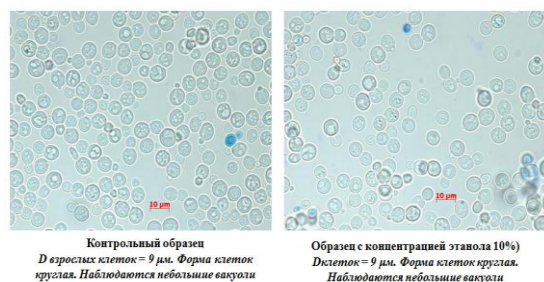


Рисунок 7. Морфология дрожжей штамма RCAM 02150

Figure 7. Morphology of yeast strain RCAM 02150

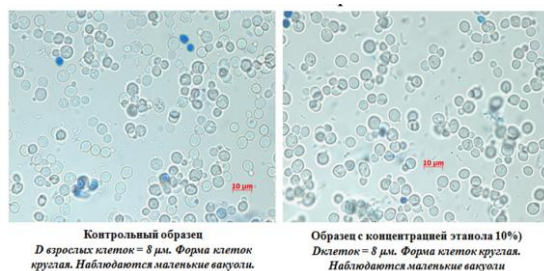


Рисунок 8. Морфология дрожжей штамм C16

Figure 8. Morphology of yeast strain C16

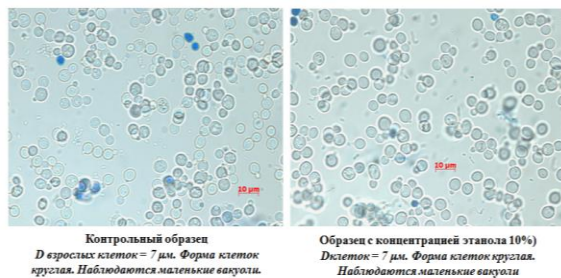


Рисунок 9. Морфология дрожжей штамма C25

Figure 9. Morphology of yeast strain C25

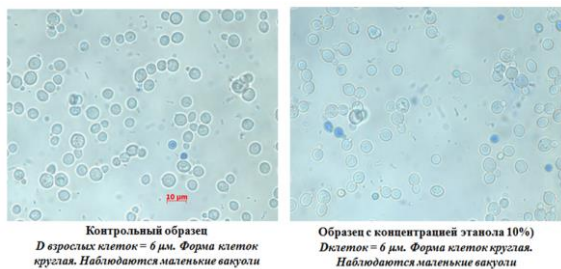


Рисунок 10. Морфология дрожжей штамма C48

Figure 10. Morphology of yeast strain C48

При сравнении метаболической активности штаммов спиртовых дрожжей, которая определялась по количеству выделившегося диоксида углерода в процессе сбраживания среды, находящейся в шприцах, установлен интересный факт (рисунок 12). При практически одинаковом содержании живых клеток во всех образцах количество образовавшегося CO_2 клетками штамма C16 составляла 53,2% от контроля, т. е. контрольного варианта, не содержащего этанол, в то время как для других штаммов эта величина соответствовала 87,8% (штамм RCAM 02150), 92,1% (штамм C25) и 82,8% (штамм C48). Максимальную бродительную активность имели штаммы C25 и пекарские дрожжи (92.1% и 87.8% соответственно).

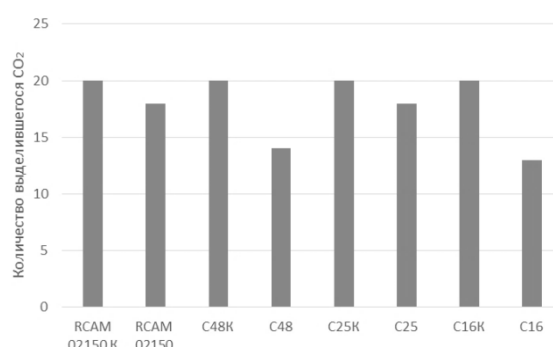


Рисунок 11. Высота подъема поршня за счет выделения CO_2 при культивировании штаммов дрожжей на средах разного состава (без этанола и с 10% этанола) (1 – штамм RCAM 02150 контроль, 2 – RCAM 02150 опыт, 3 – C48 контроль, 4 – C48 опыт, 5 – C25 – контроль, 6 – C25 опыт, 7 – C16 контроль, 8 – C16 опыт)

Figure 11. The height of the piston lift due to the release of CO_2 during the cultivation of yeast strains on media of various compositions (without ethanol and with 10% ethanol) (1 – strain rcam 02150 control, 2 – strain rcam 02150 experience, 3 – strain c48 control, 4 – strain C48 control, 5-strain C25 control, 6 – strain C25 control, 7 – strain c16 control, 8 – strain c16 experience)

Для объяснения этого факта была осуществлена серия экспериментов с двумя, значительно отличавшихся по бродительной активности, штаммами дрожжей C16 и C25. Процесс брожения проходил в среде с 20% этанола. Длительность процесса культивирования составила 72 часа. Оценку концентрации дрожжей в культуральной среде проводили по оптической плотности D600. В таблице 2 приведены результаты исследования.

На основании данных, приведенных в таблице 2, была рассчитана скорость прироста биомассы ($\Delta\text{OD}_{600} \times \text{ч}^{-1}$) для обоих штаммов, которая приведена на рисунке 13.

Таблица 2.
Оптическая плотность культуральной среды D₆₀₀
при ферментации спиртовых дрожжей

Table 2.
Optical density of the culture medium D₆₀₀ during
fermentation of alcoholic yeast

Время культивирования, ч. Duration of cultivation, hours	Штамм Strain	Концентрация этанолола, %-об. Ethanol concentration, % vol.	
		20.0	0.0
0	C16	1,513	1,509
	C25	1,572	2,407
24	C16	1,602	3,005
	C25	1,578	2,991
48	C16	1,577	3,007
	C25	1,551	2,995
72	C16	1,499	3,098
	C25	1,568	2,956

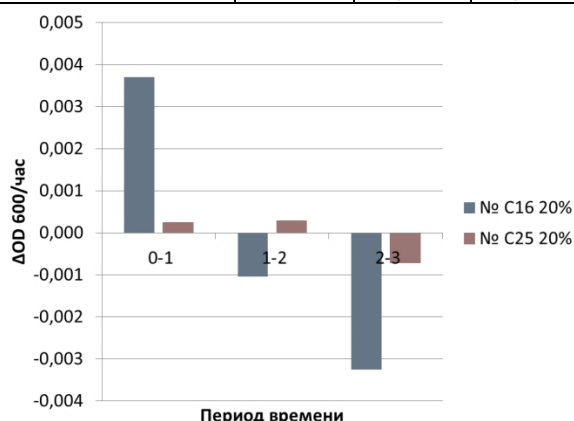


Рисунок 12. Скорость прироста биомассы (ΔOD600/ч) при ферментации питательной среды, содержащей 20% этилового спирт

Figure 12. Biomass growth rate (ΔOD600/h) during fermentation of a nutrient medium containing 20% ethyl alcohol

Заключение

В результате проведенной работы было установлено, что для оценки влияния этанола на физиологическую активность дрожжей следует использовать различные методы контроля. Так, отсутствие мертвых клеток в культуре, как показали полученные данные, не могут в полной мере объяснить метаболическую активность дрожжей в среде с этанолом. По всей видимости интенсивность этанольного стресса связана со сложными, генетически обусловленными процессами [23, 24,], например, активацией развернутого белкового ответа и изменением активности ферментов ЭПР [24]. Сравнение интенсивности размножения двух штаммов спиртовых дрожжей указывают на необходимость изучения их флокуляционной активности. Кроме того, при инокуляции среды следует учитывать различия в размере клеток разных культур, которые могут существенно отличаться. Например, дрожжи штамма C16 больше по размеру клеток штамма C48 на 33%. При сравнительной оценке штаммов следует использовать только количественное определение концентрации клеток в посевном материале, а не массовую долю биомассы в нем.

Литература

- 1 Walker G.M., Walker R.S.K. Enhancing yeast alcoholic fermentations // *Advances in applied microbiology*. 2018. P. 87–129.
- 2 Panahi H.K.S., Dehghani M., Aghbashlo M., Karimi K. et al. Conversion of residues from agro-food industry into bioethanol in Iran: An under-valued biofuel additive to phase out MTBE in gasoline // *Renewable energy*. 2020. V. 145. P. 699-710.
- 3 Demirbas A., Karslioglu S. Biodiesel production facilities from vegetable oils and animal fats // *Energy Sources, Part A*. 2007. V. 29. №. 2. P. 133-141. doi: 10.1080/009083190951320
- 4 Láinez M., Ruiz H.A., Arellano-Plaza M., Martínez-Hernández S. Bioethanol production from enzymatic hydrolysates of Agave salmiana leaves comparing *S. cerevisiae* and *K. marxianus* // *Renewable energy*. 2019. V. 138. P. 1127-1133.
- 5 Figueres C., Whiteman G., Le Quéré C., Peters G.P. Carbon emissions rise again // *Nature*. 2018. V. 564. P. 27-31.
- 6 Tang Y., An M., Liu K., Nagai S. et al. Ethanol production from acid hydrolysate of wood biomass using the flocculating yeast *Saccharomyces cerevisiae* strain KF-7 // *Process Biochemistry*. 2006. V. 41. №. 4. P. 909-914.
- 7 Raina N., Slathia P.S., Sharma P. Experimental optimization of thermochemical pretreatment of sal (*Shorea robusta*) sawdust by Central Composite Design study for bioethanol production by co-fermentation using *Saccharomyces cerevisiae* (MTCC-36) and *Pichia stipitis* (NCIM-3498) // *Biomass and Bioenergy*. 2020. V. 143. P. 105819.
- 8 Wang Q., Ma H., Xu W., Gong L. et al. Ethanol production from kitchen garbage using response surface methodology // *Biochemical Engineering Journal*. 2008. V. 39. №. 3. P. 604-610.
- 9 Láinez M., Ruiz H.A., Arellano-Plaza M., Martínez-Hernández S. Bioethanol production from enzymatic hydrolysates of Agave salmiana leaves comparing *S. cerevisiae* and *K. marxianus* // *Renewable energy*. 2019. V. 138. P. 1127-1133.
- 10 Raina N., Slathia P.S., Sharma P. Response surface methodology (RSM) for optimization of thermochemical pretreatment method and enzymatic hydrolysis of deodar sawdust (DS) for bioethanol production using separate hydrolysis and co-fermentation (SHCF) // *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2020. P. 1-21. doi: 10.1007/s13399-020-00970-0
- 11 Roukas T., Kotzekidou P. Rotary biofilm reactor: A new tool for long-term bioethanol production from non-sterilized beet molasses by *Saccharomyces cerevisiae* in repeated-batch fermentation // *Journal of cleaner production*. 2020. V. 257. P. 120519.
- 12 Keshtkar S., Mezenova O.Y., Hosseini S., Romiani E. The Study of the influence of various factors on the ethanol production by the *Hanseniaspora opuntiae* // *Вестник международной академии холода*. 2019. №. 2. С. 49-54.

- 13 Mezenova O.Y. et al. The study of ethanol production by new strain of yeasts "hanseniaspora opuntiae MK 460485", investigation of its ethanol production in presence of different carbon and nitrogen sources, and optimal conditions // *Journal of Critical Reviews*. 2020. № 4. P. 498–505.
- 14 Bleoanca I., Bahrim G. Overview on brewing yeast stress factors // *Romanian Biotechnological Letters*. 2013. V. 18. №. 5. P. 8559-8572.
- 15 Kopecká J., Němec M., Matoulková D., Čejka P. et al. Effect of growth conditions on flocculation and cell surface hydrophobicity of brewing yeast // *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. 2015. V. 73. №. 2. P. 143-150. doi: 10.1094/ASBCJ-2015-0324-01
- 16 Lentini A., Rogers P., Higgins V., Dawes I. et al. The impact of ethanol stress on yeast physiology // *Brewing Yeast Fermentation Performance*. 2003. P. 23-38. doi:10.1002/9780470696040
- 17 Stanley D., Bandara A., Fraser S., Chambers P.J. et al. The ethanol stress response and ethanol tolerance of *Saccharomyces cerevisiae* // *Journal of applied microbiology*. 2010. V. 109. №. 1. P. 13-24. doi: 10.1111/j.1365-2672.2009.04657.x
- 18 Manter D.K., Vivanco J.M. Use of the ITS primers, ITS1F and ITS4, to characterize fungal abundance and diversity in mixed-template samples by qPCR and length heterogeneity analysis // *Journal of microbiological methods*. 2007. V. 71. №. 1. P. 7-14.
- 19 Davydenko S.G. The creation and application of a new rapid method of assessing the quality of the seed yeast // *Beer and beverages*. 2012. V. 5. P. 20-23.
- 20 Davydenko S.G., Meledina T.V., Ivanova V.A. New foresight methodology for toxicity assessment // *Scientific Study & Research. Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*. 2020. V. 21. №. 3. P. 333-342.
- 21 Давыденко С.Г., Васильева Л.М., Баташов Б.Э., Дедегкаев А.Т. Применение методов окраски дрожжей для оценки их физиологического состояния // *Пиво и Напитки*. 2011. Т. 5. С. 8–11.
- 22 Navarro-Tapia E., Pérez-Torrado R., Querol A. Ethanol effects involve non-canonical unfolded protein response activation in yeast cells // *Frontiers in microbiology*. 2017. V. 8. P. 245764. doi: 10.3389/fmicb.2017.00383
- 23 Alexandre H., Ansanay-Galeote V., Dequin S., Blondin B. Global gene expression during short-term ethanol stress in *Saccharomyces cerevisiae* // *FEBS letters*. –2001. V. 498. №. 1. P. 98-103. doi: 10.1016/S0014-5793(01)02503-0
- 24 Yoshida M., Kato S., Fukuda S., Izawa S. Acquired resistance to severe ethanol stress in *Saccharomyces cerevisiae* protein quality control // *Applied and Environmental Microbiology*. 2021. V. 87. №. 6. P. e02353-20. doi: 10.1128/AEM.02353-20

References

- 1 Walker G.M., Walker R.S.K. Enhancing yeast alcoholic fermentations. *Advances in applied microbiology*. 2018. pp. 87–129.
- 2 Panahi H.K.S., Dehghani M., Aghbashlo M., Karimi K. et al. Conversion of residues from agro-food industry into bioethanol in Iran: An under-valued biofuel additive to phase out MTBE in gasoline. *Renewable energy*. 2020. vol. 145. pp. 699-710.
- 3 Demirbas A., Karslioglu S. Biodiesel production facilities from vegetable oils and animal fats. *Energy Sources, Part A*. 2007. vol. 29. no. 2. pp. 133-141. doi: 10.1080/009083190951320
- 4 Láinez M., Ruiz H.A., Arellano-Plaza M., Martínez-Hernández S. Bioethanol production from enzymatic hydrolysates of *Agave salmiana* leaves comparing *S. cerevisiae* and *K. marxianus*. *Renewable energy*. 2019. vol. 138. pp. 1127-1133.
- 5 Figueres C., Whiteman G., Le Quéré C., Peters G.P. Carbon emissions rise again. *Nature*. 2018. vol. 564. pp. 27-31.
- 6 Tang Y., An M., Liu K., Nagai S. et al. Ethanol production from acid hydrolysate of wood biomass using the flocculating yeast *Saccharomyces cerevisiae* strain KF-7. *Process Biochemistry*. 2006. vol. 41. no. 4. pp. 909-914.
- 7 Raina N., Slathia P.S., Sharma P. Experimental optimization of thermochemical pretreatment of sal (*Shorea robusta*) sawdust by Central Composite Design study for bioethanol production by co-fermentation using *Saccharomyces cerevisiae* (MTCC-36) and *Pichia stipitis* (NCIM-3498). *Biomass and Bioenergy*. 2020. vol. 143. pp. 105819.
- 8 Wang Q., Ma H., Xu W., Gong L. et al. Ethanol production from kitchen garbage using response surface methodology. *Biochemical Engineering Journal*. 2008. vol. 39. no. 3. pp. 604-610.
- 9 Láinez M., Ruiz H.A., Arellano-Plaza M., Martínez-Hernández S. Bioethanol production from enzymatic hydrolysates of *Agave salmiana* leaves comparing *S. cerevisiae* and *K. marxianus*. *Renewable energy*. 2019. vol. 138. pp. 1127-1133.
- 10 Raina N., Slathia P.S., Sharma P. Response surface methodology (RSM) for optimization of thermochemical pretreatment method and enzymatic hydrolysis of deodar sawdust (DS) for bioethanol production using separate hydrolysis and co-fermentation (SHCF). *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2020. pp. 1-21. doi: 10.1007/s13399-020-00970-0
- 11 Roukas T., Kotzekidou P. Rotary biofilm reactor: A new tool for long-term bioethanol production from non-sterilized beet molasses by *Saccharomyces cerevisiae* in repeated-batch fermentation. *Journal of cleaner production*. 2020. vol. 257. pp. 120519.
- 12 Keshtkar S., Mezenova O.Y., Hosseini S., Romiani E. The Study of the influence of various factors on the ethanol production by the *Hanseniaspora opuntiae*. *Bulletin of the International Academy of Refrigeration*. 2019. no. 2. pp. 49-54.
- 13 Mezenova O.Y. et al. The study of ethanol production by new strain of yeasts "hanseniaspora opuntiae MK 460485", investigation of its ethanol production in presence of different carbon and nitrogen sources, and optimal conditions. *Journal of Critical Reviews*. 2020. no. 4. pp. 498–505.
- 14 Bleoanca I., Bahrim G. Overview on brewing yeast stress factors. *Romanian Biotechnological Letters*. 2013. vol. 18. no. 5. pp. 8559-8572.
- 15 Kopecká J., Němec M., Matoulková D., Čejka P. et al. Effect of growth conditions on flocculation and cell surface hydrophobicity of brewing yeast. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. 2015. vol. 73. no. 2. pp. 143-150. doi: 10.1094/ASBCJ-2015-0324-01
- 16 Lentini A., Rogers P., Higgins V., Dawes I. et al. The impact of ethanol stress on yeast physiology. *Brewing Yeast Fermentation Performance*. 2003. pp. 23-38. doi:10.1002/9780470696040
- 17 Stanley D., Bandara A., Fraser S., Chambers P.J. et al. The ethanol stress response and ethanol tolerance of *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of applied microbiology*. 2010. vol. 109. no. 1. pp. 13-24. doi: 10.1111/j.1365-2672.2009.04657.x
- 18 Manter D.K., Vivanco J.M. Use of the ITS primers, ITS1F and ITS4, to characterize fungal abundance and diversity in mixed-template samples by qPCR and length heterogeneity analysis. *Journal of microbiological methods*. 2007. vol. 71. no. 1. pp. 7-14.

- 19 Davydenko S.G. The creation and application of a new rapid method of assessing the quality of the seed yeast. Beer and beverages. 2012. vol. 5. pp. 20-23.
- 20 Davydenko S.G., Meledina T.V., Ivanova V.A. New foresight methodology for toxicity assessment. Scientific Study & Research. Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry. 2020. vol. 21. no. 3. pp. 333-342.
- 21 Davydenko S.G., Vasilyeva L.M., Batashov B.E., Dedegkaev A.T. Application of yeast staining methods to assess their physiological state. Beer and Drinks. 2011. vol. 5. pp. 8–11. (in Russian).
- 22 Navarro-Tapia E., Pérez-Torrado R., Querol A. Ethanol effects involve non-canonical unfolded protein response activation in yeast cells. Frontiers in microbiology. 2017. vol. 8. pp. 245764. doi: 10.3389/fmicb.2017.00383
- 23 Alexandre H., Ansanay-Galeote V., Dequin S., Blondin B. Global gene expression during short-term ethanol stress in *Saccharomyces cerevisiae*. FEBS letters. –2001. vol. 498. no. 1. pp. 98-103. doi: 10.1016/S0014–5793(01)02503–0
- 24 Yoshida M., Kato S., Fukuda S., Izawa S. Acquired resistance to severe ethanol stress in *Saccharomyces cerevisiae* protein quality control. Applied and Environmental Microbiology. 2021. vol. 87. no. 6. pp. e02353-20. doi: 10.1128/AEM.02353–2

Сведения об авторах

Светлана Г. Давыденко к.б.н., руководитель направления развития биотехнологических процессов, ООО «Пивоваренная компания «Балтика», 6-й Верхний пер., 3, г. Санкт-Петербург, 194292, Россия, davydenko@baltika.com
 <https://orcid.org/0000-0001-8005-4743>

Татьяна В. Меледина д.т.н., профессор, факультет биотехнологии, Университет ИТМО, ул. Ломоносова 9, г. Санкт-Петербург, 191002, Россия, meledinata@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-748502802>

Анастасия Андреева доцент практики, заведующий лабораторией, факультет биотехнологий, Университет ИТМО, ул. Ломоносова 9, г. Санкт-Петербург, 191002, Россия, aandreeva@itmo.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-6179-2265>

Information about authors

Svetlana G. Davydenko Cand. Sci. (Biol.), head of the direction of development of biotechnological processes, LLC Baltika Brewing Company, 194292, St. Petersburg, 6th Upper Lane, 3 Russia, davydenko@baltika.com
 <https://orcid.org/0000-0001-8005-4743>

Tatiana V. Meledina Dr. Sci. (Engin.), professor, biotechnology faculty, ITMO University, 9 Lomonosova str., Saint Petersburg, 191002, Russia, meledinata@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-748502802>

Anastasia Andreeva associate professor, head of the laboratory, biotechnology faculty, ITMO University, 9 Lomonosova str., Saint Petersburg, 191002, Russia, aandreeva@itmo.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-6179-2265>

Вклад авторов

Светлана Г. Давыденко предложила методику проведения эксперимента и организовала производственные испытания
Татьяна В. Меледина обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты
Анастасия Андреева написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Contribution

Svetlana G. Davydenko review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations
Tatiana V. Meledina review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations
Anastasia Andreeva wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 24/01/2024	После редакции 12/02/2024	Принята в печать 01/03/2024
Received 24/01/2024	Accepted in revised 12/02/2024	Accepted 01/03/2024

Современная биотехнология производства молочного десерта с функциональными ингредиентами

Сергей А. Коновалов	¹	sa.konovalov@omgau.org	 0000-0003-3537-8081
Наталья Б. Гаврилова	¹	nb.gavrilova@omgau.org	 0000-0001-8544-4214
Константин К. Полянский	²		 0000-0000-0000-0000
Михаил П. Щетинин	³	m_p_sh1953@mail.ru	 0000-0002-9229-9251
Наталья Л. Чернопольская	¹	nl.chernopolskaya@omgau.org	 0000-0003-1359-9190

¹ Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, Институтская площадь, 1, г. Омск, 644008, Россия

² Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова, ул. Карла Маркса, 67А, Россия

³ Международная промышленная академия, 1-й, Щипковский пер., д 20, г. Москва, 115093, Россия

Аннотация. Дикорастущее растительное сырьё широко распространено, выделяется высоким урожаем и легко культивируется на всей территории Сибирского региона России, является ценным источником витаминов, минеральных веществ, пищевых волокон, органических кислот, фенольных соединений и других веществ, способных оказывать оздоровительный эффект на организм человека. В настоящее время на прилавках большинства отечественных магазинов представлен лишь ограниченный ассортимент молочных продуктов с использованием местного дикорастущего растительного сырья, что позволяет сделать вывод о необходимости создания современных биотехнологий молочных продуктов для здорового питания. Особой популярностью у населения страны, особенно у детей и подростков, пользуются молочные продукты десертной группы: пудинги, коктейли, муссы, смузи, мороженое и шербеты и др. Функциональные пищевые ингредиенты из растительного сырья в составе молочного десерта, обладают иммуномодулирующими и радиопротекторными свойствами, снижают риски возникновения какого-либо заболевания, оказывают профилактическое воздействие на здоровье потребителей. В статье проведен подробный анализ научных исследований связанных с разработкой биотехнологий молочных продуктов на основе молочного и растительного сырья. Описаны объекты исследований, основным из которых являются сливки, применены стандартные органолептические, физико-химические, микробиологические и биологические методы исследований, с использованием современных приборов, а также применялись математико-статистические методы анализа экспериментальных данных. На заключительном этапе научных исследований, представлена технология производства молочного десерта, обоснована целесообразность использования биологически активных компонентов при его производстве, приведены показатели качества, пищевой и биологической ценности, хранимоспособность и сроки годности нового молочного десерта.

Ключевые слова: сорбито-паточный сироп, растительное сырьё, пищевой ингредиент, пробиотические микроорганизмы, молочный десерт.

Modern Biotechnology to produce Dairy Dessert with Functional Ingredients

Sergey A. Konovalov	¹	sa.konovalov@omgau.org	 0000-0003-3537-8081
Natalia B. Gavrilova	¹	nb.gavrilova@omgau.org	 0000-0001-8544-4214
Konstantin K. Polyansky	²		 0000-0000-0000-0000
Mikhail P. Shchetinin	³	m_p_sh1953@mail.ru	 0000-0002-9229-9251
Natalia L. Chernopolskaya	¹	nl.chernopolskaya@omgau.org	 0000-0003-1359-9190

¹ Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin, Institutskaia Ploshchad., 1, Omsk, 644008, Russia

² Plekhanov Russian University of Economics, 67A, Karl Marx St., Russia

³ International Industrial Academy, 1st, Shchipkovsky lane, d 20, Moscow, 115093, Russia

Abstract. Wild plant raw materials are widely distributed, stand out with a high yield and are easily cultivated throughout the Siberian Region of Russia; they are a valuable source of vitamins, minerals, dietary fiber, organic acids, phenolic compounds and other substances that can have a healing effect on the human body. Currently, a wide range of dairy products using local wild plant raw materials is not sufficiently represented on the shelves of most Russian stores, which leads to the conclusion that it is necessary to create innovative biotechnologies of dairy products for a healthy diet. Dairy products of the dessert group, for example, puddings, cocktails, mousses, smoothies, ice cream and sorbets, etc. are especially popular among the population of the country, especially among children and adolescents. Functional food ingredients made from vegetable raw materials, as part of dairy desserts, have immunomodulatory and radioprotective properties, reduce the risk of any disease, and have a preventive effect on the health of consumers. The article provides a detailed analysis of scientific research related to the development of technology for dairy products for healthy nutrition based on dairy and vegetable raw materials. Subjects for scientific research, prime ones of which is cream, are described; standard organoleptic, physicochemical, microbiological and biological research methods are applied with the usage of modern devices; as well as mathematical and statistical methods for the analysis of experimental data are used. At the final stage of the scientific research, the technology for the production of a dairy dessert bioproduct is presented; the motivation for the use of biologically active agents in its production is substantiated; indicators of quality, nutritional and biological value, storage stability and shelf life of a new dairy dessert are given.

Keywords: sorbitol-molasses syrup, vegetable raw materials, food ingredient, probiotic microorganisms, dairy dessert.

Для цитирования

Коновалов С.А., Гаврилова Н.Б., Полянский К.К., Щетинин М.П., Чернопольская Н.Л. Современная биотехнология производства молочного десерта с функциональными ингредиентами // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 70–83. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-70-83

For citation

Konovalov S.A., Gavrilova N.B., Polyansky K.K., Shchetinin M.P., Chernopolskaya N.L. Modern Biotechnology to produce Dairy Dessert with Functional Ingredients. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1 pp. 70–83. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-70-83

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

В современных условиях производители молочных продуктов в целях продвижения нового продукта на товарном рынке, вынуждены в полной мере учитывать интересы и предпочтения потребителя, учитывая требования потребителей к качеству, вкусовым предпочтениям, разнообразию ингредиентов в составе продукта, а также сбалансированной отпускной ценной, исходя из затрат сырья и материалов для выработки единицы продукции. Одним из направлений повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции является использование функциональных пищевых ингредиентов, полученных из местного дикорастущего сырья, содержащего в своем составе биологически активные комплексы включающие витамины, минеральные вещества, пищевые волокна, органические кислоты, дубильные вещества, фенольные соединения и другие вещества способные оказывать оздоровительный эффект на организм человека. Перспективным направлением, как отмечают российские и зарубежные учёные, являются разработка современных биотехнологий молочных десертов путем применения различных приемов и методов воздействия на состав и свойства сырья: комбинирования, фракционирования, концентрирования и направленной трансформации сырья животного и растительного происхождения [1, 2, 13, 15, 16, 20].

Отечественные и зарубежные ученые, а также производители молочных продуктов ведут динамичную научную работу, связанную с разработкой новых технологий и рецептур молочных десертов, осуществляют поиск дополнительных источников нетрадиционного сырья, пищевых добавок, биологически активных веществ, полученных в результате ферментативной биоконверсии сырья растительного и животного происхождения. Основные направления исследований связаны с разработкой десертов, которые не только содержат все необходимые для организма пищевые вещества, обладают приятным вкусом и консистенцией, удобной и красивой упаковкой, но и оказывают положительное влияние на здоровье человека [4, 6, 11, 12, 17].

Анализ технической, научной зарубежной и российской литературы по вопросам производства молочных десертов свидетельствует о том, что согласно мировым тенденциям современные молочные десерты, должны обладать повышенной пищевой и биологической ценностью, а также пониженной энергетической ценностью; противомикробными свойствами; иммуномодуляторными свойствами; радиопротекторными свойствами; гипоаллергенными свойствами; антиоксидантными свойствами; функционально-технологическими свойствами [5, 6, 12, 15–18].

В связи с вышеуказанным определена цель исследований – разработать современную биотехнологию молочного десерта с функциональными ингредиентами.

Материалы и методы

В экспериментальных исследованиях использовались современные стандартные методы и приборы, прошедшие поверку.

Основные объекты исследования:

- сливки-сырье с массовой долей жира 10%, кислотностью не более 19°Т по ГОСТ 34355–2017;
- сыворотка молочная сухая по ГОСТ 33958–2016;
- бактериальный концентрат-АЛТАЙ С-Бифи ТУ 9229–003–43704355–03;
- бактериальная закваска болгарская палочка вязкая (БЗ-БВ) ТУ 9229–369–00419785–04;
- железосодержащая добавка Лактат железа по СанПиН 2.3.2.1293–03;
- ягоды клюквы по ГОСТ 33309–2015;
- ягоды ежевики по ГОСТ 33915–2016;
- ягоды черники по ГОСТ 34219–2017,

а также вспомогательное сырье и материалы. Активную кислотность образцов определяли в соответствии с ГОСТ 32892–2014 с использованием рН-метра милливольтметра типа рН-150 МА. Титруемую кислотность определяли согласно ГОСТ Р 54669–2011. Определение количества мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) в соответствии с ГОСТ 32901–2014.

Массовую долю белка определяли по ГОСТ Р 53951–2010 методом Кьельдаля, углеводов – по ГОСТ Р 54667–2011, жира – по ГОСТ 31633–2012 фотоколориметрически. Органолептическую оценку образцов осуществляли согласно ГОСТ ISO 13299–2001. Массовую долю золы по ГОСТ Р 51466–99.

Витамины группы определяли флуориметрическим методом по ГОСТ 32042–2012, содержание ниацина РР определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии по ГОСТ EN 15652–2015, углеводы – с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии по ГОСТ 33409–2015, витамин С – йодометрическим титрованием по ГОСТ 24556–89, пектиновые вещества титриметрическим методом по ГОСТ – 29059–91, флавоноиды – спектрофотометрически по ГОСТ Р 55312–2012. Моно – дисахариды, каротиноиды определяли методом ВЭЖХ по ГОСТ 33277–2015, ГОСТ Р 54760–2011. Содержание золы в сиропах определяли по ГОСТ 25555.4–91. Содержание клетчатки (пищевых волокон) определяли по ГОСТ Р 54014–2010. Содержание токоферолов по (ГОСТ 26573.0–2017)

Содержание натрия, калия, магния, кальция, железа, меди и цинка определяли методом

зеэмановской атомной абсорбции по ГОСТ Р 51429–99, содержание клетчатки (пищевых волокон) определяли по ГОСТ 34844–2022, содержание филлохинона (K1) определяли по ГОСТ EN 14148–2015, содержание токоферолов (E) определяли по ГОСТ Р 54634–2011, содержание фосфора определяли по ГОСТ 30615–99.

Пищевая и энергетическая ценность десертов определяли расчетным методом.

Повторность экспериментов пятикратная. Обработка экспериментальных данных проводилась методами математико-аналитического

анализа с использованием программного продукта STATISTICA 6.1. Достоверность результатов определялась с помощью критерия Кохрена.

Результаты

Дикорастущее сырьё для производства биологически активного компонента отбирали по следующим показателям качества: внешний вид, вкус, цвет, аромат, степень зрелости, наличие посторонних примесей. Результаты изучения химического состава дикорастущих ягод – клюквы, ежевики и черники, произрастающих на территории Омской области представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Химический состав ягод Омской области

Table 1.

Chemical Composition of Wild Berries of the Omsk Region

Показатели Indicators	Ягода Berries		
	Клюква Cranberry	Ежевика Blackberry	Черника Blueberry
Массовая доля влаги, % Mass fraction of moisture, %	88,9 ± 2,0	88,0 ± 2,0	86,0 ± 2,0
Массовая доля углеводов, %, в т. ч. Mass fraction of carbohydrates, %, including	8,6 ± 0,3	8,9 ± 0,3	9,8 ± 0,3
всего сахара total sugar	5,3 ± 0,2	4,4 ± 0,2	7,6 ± 0,3
сахароза sucrose	0,1 ± 0,01	-	0,2 ± 0,01
Пектиновые вещества Pectin substances	0,7 ± 0,03	0,5 ± 0,02	0,6 ± 0,02
Полиолы Polyols	0,5 ± 0,02	-	-
Клетчатка Fibre	2,0 ± 0,1	4,0 ± 0,2	2,4 ± 0,1
Титруемая кислотность, град Titratable test acidity, degrees	3,1 ± 0,1	2,0 ± 0,1	1,2 ± 0,1
Аскорбиновая кислота, мг/100 г Ascorbic acid, mg/100 g	28,0 ± 0,5	26,0 ± 0,5	23,0 ± 0,5
Р активные вещества, мг/100 г, в т. ч. Biologically active flavonoids, mg/100 g			
антоцианы anthocyanins	740,0 ± 37,0	-	1420,0 ± 62,0
катехины catechins	140,0 ± 8,0	230 ± 13,0	170,0 ± 9,0
лейкоантоцианы leucoanthocyanins	-	-	1198,0 ± 59,0
Содержание витамина С, мг/100 г Vitamin C content, mg/100 g	29,7 ± 0,7	20,2 ± 0,5	6,0 ± 0,2
Содержание витаминов группы В в дикорастущих ягодах мг/100 г Content of B vitamins in wild berries, mg/100 g			
тиамин (B ₁) thiamine (B ₁)	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01
рибофлавин (B ₂) riboflavin (B ₂)	0,02 ± 0,01	0,05 ± 0,03	0,01 ± 0,01
фолацин (B ₉) folacin (B ₉)	0,03 ± 0,01	-	0,03 ± 0,01
ниацин (PP) niacin (B ₃)	0,15 ± 0,01	-	0,30 ± 0,03
Содержание жирорастворимых витаминов в дикорастущих ягодах мг/100 г The content of fat-soluble vitamins in wild berries mg/100 g			
β-каротин (провитамин А) β-carotene (provitamin A)	0,05 ± 0,01	0,50 ± 0,03	0,12 ± 0,01
филлохинон (K1) phylloquinone (K1)	0,90 ± 0,03	0,50 ± 0,03	0,40 ± 0,02
токоферолы (E) tocopherol (E)	-	0,02 ± 0,01	-
Содержание макроэлементов, мг/кг Macronutrient content, mg/kg			
калий potassium	119,0 ± 1,1	208,0 ± 2,4	51,0 ± 0,8
натрий sodium	13,8 ± 0,3	21,0 ± 0,6	33,6 ± 0,7
кальций calcium	14,2 ± 0,3	-	20,8 ± 0,6
магний magnesium	15,0 ± 0,3	-	10,3 ± 0,2
фосфор phosphorus	11,0 ± 0,2	32,0 ± 0,7	33,9 ± 0,7
Зола, % Ash, %	0,30 ± 0,01	0,7 ± 0,02	0,40 ± 0,01

Из данных таблицы 1, очевидно, что мякоть дикорастущих ягод северных районов Омской области содержит сахара, пищевые волокна, Р-активные вещества, витамины и минеральные вещества, что делает её ценным сырьём

в производстве молочных продуктов для функционального питания в виде концентрированных сиропов [5, 18].

Мякоть дикорастущих ягод содержит только присущие им природные сахара, пищевые волокна

в клюкве составляют 3,2–3,35%, ежевике – 4,5–4,72%, чернике – 3,0–3,12%, что полностью соответствует информации о содержании пищевых волокон 3 г на 100 г для твердой пищевой продукции, согласно Приложению 5, Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части её маркировки» (с изменениями на 14 сентября 2018 года). Однако, в соответствии с приложением 5 ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части её маркировки» по 100 г клюквы, ежевики и черники покрывает среднюю суточную потребность в витаминах и минеральных веществах лишь на 0,5%, 0,3% и 0,1% соответственно. т.е. менее 15% средне суточной потребности взрослого человека в витаминах и минеральных веществах на 100 г для твердой пищевой продукции.

Качество сиропов из дикорастущих ягод во многом зависит от способа отжима дикорастущих ягод, температуры и продолжительности нагревания сахара или сорбито-паточного сиропа при его изготовлении.

Подготовленное к отжиму ягодное сырьё направлялось на загрузочную воронку и далее к коническому вращающемуся шнеку. По мере продвижения ягод вдоль оси вращения шнека происходило их сжатие и отделение жидкой фазы от плотной.

Экспериментальные данные выхода сока и образующегося сырья в зависимости от диаметра ячеек сит (таблица 2).

Критерием отбора дикорастущего сырья для производства биологически активного компонента являлось степень перехода биологически активных веществ в жидкую фазу и процент отделения сока.

В результате экспериментальных исследований установлено, что оптимальным диаметром сита является при отжиме ягод черники – 2,5 мм, ягод клюквы и ежевики – 2,0 мм. Подобранные диаметры сит позволяют максимально отжимать сок из ягод и обеспечивать бесперебойность работы соковыжималки. Мякоть черники содержит большое количество мелких косточек, что затрудняет отжим сока с диаметром ячеек сита менее 2,5 мм. Увеличение диаметра сит свыше 2,5 мм во время отжима ягод черники способствовало увеличению содержания косточек в ягодном соке, что в дальнейшем затрудняло технологический процесс при концентрировании сока в вакуум-выпарном аппарате и приводило к снижению органолептических показателей сиропа из ягод черники.

Таблица 2.

Выход сока и вторичного сырья в зависимости от диаметра ячеек сит

Table 2.

Yield of Juice and Secondary Raw Materials, Depending on the Mesh Size

Диаметр ячеек сита, мм Mesh Size, mm	Ежевика Blueberry		Клюква Cranberry		Черника Blackberry	
	сок, % juice, %	мезга, % septum, %	сок, % juice, %	мезга, % septum, %	сок, % juice, %	мезга, % septum, %
2,0	63,84	36,16	58,64	41,36	50,45	49,55
2,5	60,42	39,58	56,66	43,34	47,56	52,44
3,0	58,66	41,34	53,88	46,12	43,84	56,16

Все нетрадиционные модификации методов должны быть описаны полностью. Для всех используемых в работе реактивов, животных, клеток культур и т. д. необходимо точно указать производителей и / или источники получения (с названием страны, фирмы, института).

Результаты исследований указывают, что с повышением размера частиц при протирании происходит увеличение значений напряжения сдвига. Это обусловлено тем, что с увеличением диаметра ячеек, в мезгу переходит большая часть ягодной оболочки, в которой содержится больше пектиновых и сухих веществ. В результате чего, с увеличением диаметра ячеек, увеличивается количество мезги. Наличие пектиновых веществ с высоким содержанием кальция в минеральном составе соков повышает устойчивость цитоплазмы и затрудняет отделение сока.

Вытекание сока также тормозится при высоком содержании растворимых пектиновых веществ, которые затрудняет отделение сока. После получения ягодного сока, подбирали оптимальные параметры технологической обработки настоев из мезги с целью дальнейшего извлечения биологически активных комплексов растительного сырья, включая пектиновые и минеральные вещества.

После получения сока мезгу, от их производства концентрировали до массовой доли влаги $(13,0 \pm 0,5) \%$. Для более полного извлечения полезных веществ полученную мезгу заливали горячей водой температурой 95–100 °С и настаивали в течение 2 ч. Количество воды и мезги в настоях варьировали: 1:3, 1:5 и 1:8. Для оценки качества настоев из мезги дикорастущих ягод учитывали содержание сухих растворимых веществ и органолептические показатели (таблица 3).

Таблица 3.

Органолептические показатели настоев из мезги дикорастущих ягод

Table 3.

Organoleptic Characteristics of Infusions from the Septum from Wild Berries

Количественное соотношение мезга: вода Proportion Septum:water	Массовая доля сухих веществ, % Mass fraction of dry solids, %	Цвет настоя Infusion color	Вкус и аромат Flavor and aroma
1:3	5,0–6,0	Интенсивный, тёмно-окрашенный Intense, dark colored	Выраженный вкус и аромат, свойственный дикорастущей ягоде Pronounced flavor and aroma that are characteristic of a wild berry
1:5	3,7–4,5	Достаточно окрашенный Colored enough	
1:8	3,1–3,3	Светлый, неяркий Light, soft	Слабый аромат, невыраженный вкус Weak aroma, unexpressed flavor

При этом отмечается, что лучшими органолептическими показателями характеризуются настои с содержанием сухих веществ ($4,0 \pm 0,5$). Однако, с целью улучшения вкусо-ароматических свойств и повышения биологической ценности при производстве сиропов из дикорастущих ягод желательно использовать ягодный настой с массовой долей сухих веществ не более 7,0%.

Как видно из таблицы 3, гидромодуль для получения настоя с содержанием сухих веществ ($4,5 \pm 0,2$), составил 1:5 (мезга: вода). Данное содержание сухих веществ приемлемо для получения сиропов с достаточно высокими органолептическими и физико-химическими показателями. Процентное содержание сухих веществ в сиропе можно увеличить, используя вместо воды ранее полученный настой из мезги и ягодный сок дикоросов.

Известно, что высокие концентрации сахара гарантируют сохранность продукта. Поэтому

приготовление сиропов из дикоросов можно производить на сахаре или на его заменителе – сорбите. Введение в состав композиции для получения молочного десерта в качестве подслащивающего компонента сорбито-паточного сиропа дает возможность его использования для профилактического питания людей.

После подготовки сахарного или сорбито-паточного сиропов их смешивали с соком ягод и направляли в вакуум-выпарной аппарат с величиной вакуума 0,001 МПа и скоростью циркуляции раствора 1,0–1,5 м/с, что позволяет получать ягодные сиропы с высокой биологической ценностью и длительными сроками годности. Содержание сухих веществ в сиропах из дикорастущих ягод составляет от 73 до 74%.

Титруемая кислотность и качественный состав органических кислот сока из дикорастущих ягод представлен в таблице 4.

Таблица 4.

Титруемая кислотность и качественный состав органических кислот дикорастущих ягод

Table 4.

Titrated acidity and qualitative composition of organic acids of wild berries

Сок Juice	Титруемая кислотность, % Titratable test acidity, degrees	Качественный состав кислот Qualitative composition of acids
Клюквенный сок Cranberry juice	$2,7 \pm 0,5$	Лимонная, яблочная, гликолевая, щавелевая, бензойная, хинная, олеаноловая, щавелевая, α -кетоглутаровая, хлорогеновая, кофейная, янтарная Citric, malic, glycolic, oxalic, benzoic, quinic, oleanolic, oxalic, alpha-ketoglutaric, chlorogenic, coffee, amber
Клюквенный сироп Cranberry syrup	$9,0 \pm 0,5$	
Черничный сок Blueberry juice	$1,4 \pm 0,5$	Лимонная, яблочная, щавелевая, смесь хлорогеновых кислот Citric, malic, oxalic, a mixture of chlorogenic acids
Черничный сироп Blueberry syrup	$5,5 \pm 0,5$	
Ежевичный сок Blackberry juice	$3,0 \pm 1,2$	Лимонная, яблочная, винная, хлорогеновые кислоты Citric, malic, tartaric, chlorogenic acids

Кислоты совместно с сахарами, пектиновыми и дубильными веществами обуславливают вкус плодов и ягод. Они возбуждают аппетит, усиливают отделение желудочного сока и сока поджелудочной железы, стимулируют перистальтику кишок. Органические кислоты способствуют растворению солей мочевой кислоты (уратов) и выведения их из организма человека. Соли органических кислот (яблочной, лимонной, янтарной и др.), входящих в состав ягод и плодов,

характеризуются щелочной реакцией, поэтому они способны нейтрализовать кислые продукты, образующиеся в организме в результате обмена веществ. Это имеет большое значение для поддержания постоянства активной реакции тканей и жидкостей.

Содержание биологически активных веществ в ягодных соках и ягодных сиропах, приготовленных на основе сахарного и сорбито-паточного сиропа представлено в таблице 5.

Таблица 5.

Содержание биологически активных веществ в ягодных соках и ягодных сиропах, приготовленных на основе сахарного и сорбито-паточного сиропа

Table 5.

The content of biologically active substances in berry juices and berry syrups prepared on the basis of sugar and sorbitol syrup

Показатель Indicator	Сок Juice			Сироп Syrup		
	клюквенный cranberry	ежевичный blackberry	черничный blueberry	клюквенный cranberry	ежевичный blackberry	черничный blueberry
Содержание витаминов мг/100 г в т. ч. Vitamin content mg/100 g, including						
β-каротин β-carotene	0,03 ± 0,01	0,30 ± 0,1	0,09 ± 0,01	0,23 ± 0,01	0,72 ± 0,01	0,69 ± 0,01
K ₁	0,8 ± 0,03	0,32 ± 0,1	0,5 ± 0,2	6,0 ± 0,2	4,0 ± 0,2	3,8 ± 0,2
E	—	0,02 ± 0,01	—	—	—	—
C	29,7 ± 0,7	18 ± 0,5	5,5 ± 0,2	223 ± 15,0	44 ± 0,8	42 ± 0,8
B ₁	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,08 ± 0,01
B ₂	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,16 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,08 ± 0,01
B ₆	0,03 ± 0,01	—	0,05 ± 0,03	0,23 ± 0,01	—	0,4 ± 0,2
PP	0,15 ± 0,01	—	0,20 ± 0,01	1,13 ± 0,1	1,6 ± 0,1	1,54 ± 0,1
Фолиевая кислота, мкг Folic acid, mcg	0,8 ± 0,05	—	—	6,00 ± 0,3	—	—
Содержание незаменимых микроэлементов, мг/кг The content of essential trace elements, mg/kg						
Fe	18,0 ± 0,5	—	6,2 ± 0,3	135 ± 8,0	49,6 ± 0,8	47,7 ± 0,8
Mn	15,2 ± 0,5	—	23 ± 0,6	114 ± 7,0	184 ± 9,0	177 ± 9,0
Co	0,04 ± 0,01	—	0,02 ± 0,01	0,27 ± 0,1	0,2 ± 0,1	0,18 ± 0,1
Mo	0,05 ± 0,01	—	0,02 ± 0,01	0,38 ± 0,1	0,16 ± 0,1	0,15 ± 0,1
Аскорбиновая к-та, мг/100 г Ascorbic acid, mg/100 g	28,0 ± 0,5	26,0 ± 0,5	23,0 ± 0,5	210,0 ± 13,0	184,0 ± 12,0	177,1 ± 12,0
Р-активные соединения, мг/100 г Biologically active flavonoids, mg/100 g						
Антоцианы Anthocyanins	745 ± 37,0	—	1420 ± 62,0	5588 ± 280,0	11360 ± 570,0	10934 ± 550,0
катехины catechins	140 ± 8,0	230 ± 15,0	170 ± 9,0	1050 ± 45,0	1360 ± 60,0	1309 ± 60,0
лейкоантоцианы leucoanthocyanins	—	—	1198 ± 55,0	—	9584 ± 480,0	9225 ± 470,0
флавонолы flavonols	451,9 ± 25,0	—	—	3389 ± 170,0	—	—
Углеводный состав, % Carbohydrate composition, %						
Сахара Sugar	5,2 ± 0,2	6,7 ± 0,2	4,8 ± 0,2	39 ± 0,5	38,4 ± 0,5	37,0 ± 0,5
сахароза sucrose	0,9 ± 0,1	—	0,3 ± 0,1	6,8 ± 0,3	2,4 ± 0,1	2,3 ± 0,1
пектиновые вещества pectin substances	0,6 ± 0,1	0,4 ± 0,1	0,4 ± 0,1	4,5 ± 0,2	3,2 ± 0,1	3,1 ± 0,1
полиолы polyols	0,15 ± 0,1	—	—	1,1 ± 0,1	—	—
клетчатка fiber	1,0 ± 0,1	2,5 ± 0,1	1,6 ± 0,1	7,5 ± 0,1	12,8 ± 0,3	12,32 ± 0,3

Роль клетчатки в организме весьма велика. В желудочно-кишечном тракте человека она почти не переваривается. Роль клетчатки многогранна и заключается не только в механическом раздражении стенок кишечника, что усиливает выделение пищеварительных соков, перистальтику кишок, нормализует процесс пищеварения и предупреждает запоры.

Минеральные соли играют огромную роль в жизнедеятельности человека, являясь важной составной частью крови, лимфы, пищеварительных соков и других жидкостей человека. Они входят в состав всех органов и тканей, обеспечивая нормальное протекание многочисленных процессов обмена веществ. Ягоды клюквы и черники содержат в своем составе железо. Железо принимает активное участие в процессах кроветворения. Микроэлементы (марганец, кобальт, молибден и др.) играют весьма значительную роль в жизнедеятельности организма. Например, медь, кобальт и марганец участвуют в процессах кроветворения.

Витаминный состав дикорастущих ягод весьма разнообразен. Ягоды клюквы, ежевики и черники содержат в основном водорастворимые витамины: аскорбиновую кислоту, витамины

группы В, и фенольные соединения. Необходимо отметить, что мякоть дикорастущих ягод является в основном источником витамина С и Р-активных соединений. Аскорбиновая кислота – активный участник многих окислительно-восстановительных процессов, протекающих как в плодах, ягодах, так и в организме человека. Она повышает устойчивость к инфекционным заболеваниям, особенно простудным, неблагоприятным внешним воздействиям (перегреву, охлаждению кислородной недостаточности), увеличивает работоспособность. Аскорбиновая кислота оказывает влияние на кроветворение, обмен углеводов и холестерина. Р-активные соединения обладают гипотензивным (противогипертаническим) и капилляроукрепляющим (противосклеротическим) действием.

Витамины группы В входят в простетические группы ферментов, осуществляющих энергетический обмен, биосинтез пуриновых оснований, участвуют в регуляции углеводного, белкового и жирового обмена. При недостатке тиамин, рибофлавин, ниацин, фолатин развиваются авитаминозы, имеющие четко выраженные признаки и симптомы. Наиболее характерно

повышение умственной утомляемости. В дикорастущих ягодах клюквы, ежевики, черники содержится витамин К₁ (филлохинон). Он принимает активное участие в свертывании крови. Филлохинон играет важную роль в процессах тканевого дыхания и синтеза белков (в частности, ферментов пищеварительного тракта). Как следует из таблицы 1, дикорастущие ягоды бедны витаминами группы В – В₁, В₂, РР, пантотеновой и фолиевой кислотами и другими, а поэтому не могут в большинстве случаев играть серьезной роли в обеспечении этими веществами организма человека [19]. В диетическом питании весьма перспективным направлением является, использование дикорастущих ягод и плодов в виде концентрированных плодово-ягодных соков и сиропов.

Кроме нового вида биологически активного компонента – источника витаминов, минеральных веществ, органических кислот, азотистых и дубильных веществ, биофлавоноидов, пектинов и других веществ, обладающих выраженным фармакологическим действием, в биотехнологии молочного десертного продукта для обогащения его пробиотиками использовалась бинарная закваска, содержащая пробиотические культуры в иммобилизованном виде АЛТАЙ С-Бифи, которая представляет собой концентрат молочнокислых бактерий (*Lactococcus lactis subsp. cremoris*, *Lactococcus lactis subsp. diacetylactis*, *Streptococcus thermophilus*) и бифидобактерии (*Bifidobacterium bifidum* или *Bifidobacterium longum*).

Также для повышения биологической ценности и оздоравливающего эффекта в рецептуру нового продукта были включены лактат железа, аскорбиновая кислота (витамин С) и источник незаменимых аминокислот – сыворотка молочная сухая (таблица 6).

Недостаточность железа является одним из самых распространенных нарушений питания во всем мире и, по оценкам специалистов, затрагивает более трех миллиардов человек. Анемия является ярким примером недостаточности железа алиментарной природы. Из множества факторов, способствующих развитию железодефицитной анемии, следует отметить недостаточное содержание железа в рационе и низкую усвояемость пищевого железа. Существует два типа железа в пищевых продуктах: гемное и негемное железо, и всасывание их происходит посредством разных механизмов. На всасывание гемового железа, в отличие от негемового железа, не влияют связывающие и тормозящее усвоение железа вещества, содержащиеся в пищевых продуктах и желудочном соке. Витамин С является восстановителем и сильным средством активизации всасывания железа, повышающим его растворимость путем

окисления элемента железа из трехвалентного (Fe³⁺) в двухвалентное (Fe²⁺) состояние и образования растворимого соединения. Поглощение железа организмом в значительной мере зависит от количества, вводимого с продуктом элемента. Фрукты, особенно цитрусовые и ягоды содержат железа не больше, чем некоторые овощи, но благодаря высокому содержанию одного из наиболее сильных стимуляторов всасывания железа витамина С (аскорбиновой кислоты), оно всасывается из них лучше. Аскорбиновая кислота, восстанавливающая железо и образующая с ним хелатные комплексы, повышает доступность этого элемента так же, как и другие органические кислоты. Положительное влияние на всасывание железа оказывают микроэлементы (медь, кобальт, марганец и др.), а также необходимые витамины группы В (особенно В₁₂), витамин С, фолиевая кислота, помогающая преобразовать трехвалентное нерастворимое железо в двухвалентное растворимое. Наиболее богатым источником железа является также патока – побочный продукт производства сахара, содержащая, кроме того, много магния (в 15 г патоки содержится 3,2 мг магния).

Лактат железа является добавкой, изготовленной из двухвалентного железа, и не имеет побочного действия в виде раздражения желудочно-кишечного тракта или запора, тошноты, рвоты и других негативных реакций. Лактат также помогает обогатить молочный десерт железом и другими минеральными веществами, поскольку другие соли в молочных продуктах ведут к изменению цвета и самоокисляющему разложению, а также обладает терапевтическими и профилактическими свойствами в сравнении с другими железосодержащими добавками. В результате научных исследований была установлена рациональная дозировка лактата железа в молочном десерте в количестве 15 мг на 100 г десерта. Исходя из того, что количество обогащающей добавки для профилактических целей должно составлять не менее 15–30% от суточной потребности в конкретном нутриенте и составило для железа 2–5 мг/100 г десерта. Внесение лактата железа в количестве 20 мг/100 г и более приводило к резкому снижению органолептических показателей, появлению у молочного десерта специфического привкуса и аромата, не свойственного молочным продуктам [7–10, 14].

На следующем этапе изучалась сохранность ягодных сиропов в процессе хранения (в стеклянной таре при температуре 14–25 °С и относительной влажности воздуха не выше 75% в течение 180 суток).

Сохранность аскорбиновой кислоты и лактата железа в ягодных сиропах в процессе хранения (рисунок 1).

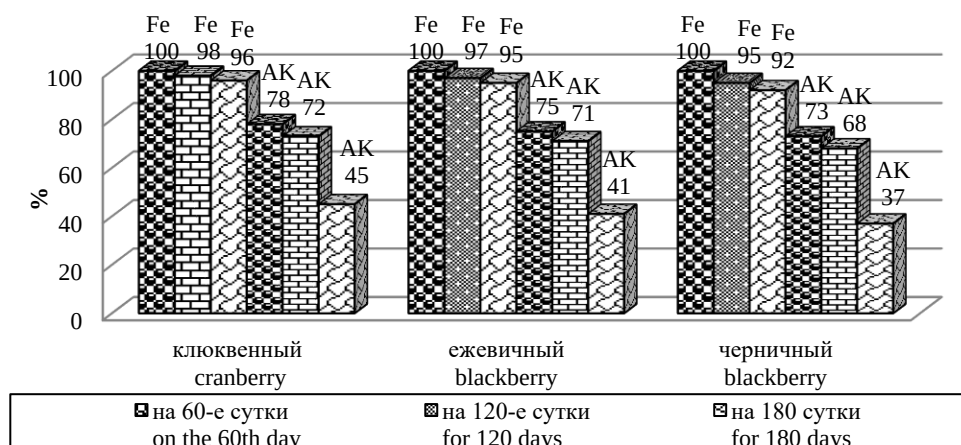


Рисунок 1. Сохранность аскорбиновой кислоты и лактата железа в ягодных сиропах в процессе хранения, %
Figure 1. Safety of ascorbic acid and iron lactate in berry syrups during the storage process

В ягодных сиропах, обогащенных лактатом железа в процессе хранения постепенно снижалось содержание аскорбиновой кислоты (АК). За первые 60 суток содержание аскорбиновой кислоты снизилось на 22–27%, в сиропе «Клюквенный» на 22%, в сиропе «Ежевичный» на 25%, в сиропе «Черничный» на 27%. После следующего месяца хранения в сиропе «Клюквенный» на 28%, в сиропе «Ежевичный» на 29%, в сиропе «Черничный» на 32%. Значительные потери аскорбиновой кислоты (АК) наблюдались к концу срока хранения на 180-е сутки в сиропе «Клюквенный» на 55%, в сиропе «Ежевичный» на 59%, в сиропе «Черничный» на 63%.

Однако, совершенно другая картина наблюдалась при изучении сохранности лактата железа в сиропах. Так в сиропе «Клюквенный» к концу 6-го месяцев количество Fe было 14,40 мг/100 см³ (исходно во всех сиропах было 15 мг/100 см³), т. е. уменьшилось на 4,0%, в сиропе «Ежевичный» Fe было 14,25 мг/100 см³, т. е. уменьшилось на 5,0%, в сиропе «Черничный» Fe было 13,80 мг/100 см³, т. е. уменьшилось на 8,0%. Вероятно, всего на сохранение количества Fe в различных ягодных

сиропах повлияло также содержание самой аскорбиновой кислоты в свежей ягоде из которой изготавливали сироп, до того, как вводили дополнительно аскорбиновую кислоту. Таким образом, на основании проведенных исследований ягодных сиропов было установлено что на 120-е сутки не наблюдаются значительные потери в содержания витамина С и Fe в отличие от потерь данных веществ на 180 суток хранения. Таким образом, можно предположить, что лактат железа в ягодных сиропах при хранении претерпевает изменения, которые проявляются в том, что часть железа как металл, сохраняясь в продукте выпадает в осадок.

Ягодные сиропы хранят в местах, защищенных от прямых солнечных лучей при относительной влажности воздуха не более 75% и температуре воздуха от 14 до 25 °С с даты изготовления в течении 120 суток. Рецептуры молочных десертов представлены в таблице 6.

Органолептические, физико-химические и микробиологические показатели молочных десертов приведены в таблицах 7 и 8.

Таблица 6.

Рецептура молочных десертов, кг/1000 кг

Table 6.

Dairy Dessert Bioproduct Recipe, kg/1000 kg

Сырье и материалы Raw materials	Расход сырья для производства кг/1000 кг молочных десертов Raw materials consumption for the production of kg/1000 kg of dairy desserts		
	клюквенный cranberry	ежевичный blueberry	черничный blackberry
Сливки м.д.ж. 10% Cream 10%	749,65	749,65	749,65
Сыворотка молочная сухая Whey powder	30,00	30,00	30,00
Закваска Starter culture	50,00	50,00	50,00
Лактат железа Ferrous lactate	0,15	0,15	0,15
Аскорбиновая кислота Ascorbic acid	0,20	0,20	0,20
Сиропа Syrups			
ягод клюквы cranberry	170,00	–	–
ягод черники blackberry	–	170,00	–
ягод ежевики blueberry	–	–	170,00
Выход Yield	1000,00	1000,00	1000,00

Таблица 7.

Органолептические показатели молочных десертов

Table 7.

Organoleptic Characteristics of the Dairy Desserts

Показатель Characteristic	Вид молочного десерта Type of dairy dessert		
	клюквенный cranberry	ежевичный blueberry	черничный blackberry
Внешний вид и консистенция Appearance and consistency	Поверхность продукта ровная глянцевая, консистенция однородная нежная не текучая вязкая (желеобразная), допускается включение наполнителя The surface of the product is smooth, glossy; the consistency is homogeneous, fine, non-fluid, sticky (jelly-like), the addition of filler is allowed.		
Вкус и запах Flavor and aroma	Чистый кисломолочный, в меру сладкий, с привкусом добавленных плодов ягод Pure fermented milk, moderately sweet, with a flavor of added berries		
Цвет Color	Светло-розовый оттенок, равномерный по всей массе Delicate shade of pink, uniform throughout the mass	Розовый, насыщенный, равномерный по всей массе Pink, rich, uniform throughout the mass	Розовый, насыщенный, равномерный по всей массе Pink, rich, uniform throughout the mass

Таблица 8.

Физико-химические и микробиологические показатели молочных десертов

Table 8.

Physicochemical and Physicochemical Characteristics of the Dairy Desserts

Показатель Characteristic	Молочный десерт Dairy dessert		
	клюквенный cranberry	ежевичный blueberry	черничный blackberry
Массовая доля жира, %, не менее Mass fraction of fat, %, not less than	7,58 ± 0,2	7,60 ± 0,2	7,61 ± 0,2
Массовая доля белка, % Mass fraction of protein, %	2,50 ± 0,2	2,56 ± 0,2	2,54 ± 0,2
Массовая доля углеводов, % Mass fraction of carbohydrates, %	13,04 ± 0,1	13,09 ± 0,1	13,31 ± 0,1
Содержание сухих веществ, % не менее Dry solids content, %, not less than	24,77 ± 0,1	24,95 ± 0,1	25,13 ± 0,1
Зола, % Ash, %	0,73 ± 0,3	0,76 ± 0,3	0,74 ± 0,3
Аскорбиновая кислота (C), мг/100 см ³ Ascorbic acid (C), mg/100 cm ³	22,5	22,5	21,84
Fe (железо), мг/100 см ³ Fe (iron), mg/100 cm ³	4,13	4,16	4,14
pH	4,65–4,55	4,65–4,77	4,68–4,77
Кислотность, °T Acidity, °T	65–70	60–65	60–63
Температура при выпуске с предприятия, °C, не выше Temperature when leaving the factory, °C, not higher	6	6	6
КМАФАнМ, КОЕ/г QMAFAnM, CFU/g	(6,6–7,2) × 10 ⁸	(7,0–7,8) × 10 ⁸	(6,4–7,1) × 10 ⁸

Понятие «биологическая ценность» является более частным по сравнению с понятием «пищевая ценность» и отражает качество пищевых веществ, связанных с их перевариваемостью, а для белков со степенью сбалансированности аминокислотного состава.

Качественные показатели белка связаны с оценкой аминокислотного состава продукта.

В таблице 9 приведены показатели аминокислотного состава новых молочных десертов. Состав незаменимых аминокислот и аминокислотный скор новых видов молочных десертов представлены в таблице 10.

Аминокислотный скор молочных десертов относительно шкалы ФАО/ВОЗ, представлен на рисунке 2.

Таблица 9.

Аминокислотный состав молочных десертов, мг/100 г продукта

Table 9.

Amino Acid Composition of the Dairy Desserts, mg/100 g of the Product

Аминокислота Amino Acid	Молочный десерт Dairy dessert			
	без наполнителя without additives	клюквенный cranberry	ежевичный blueberry	черничный blackberry
Незаменимые Essential	1165	1199	1224	1206
валин valine	181	187	186	188
изолейцин isoleucine	163	168	169	170
лейцин leucine	259	265	270	267
лизин lysine	204	208	208	210
метионин methionine	64	67	76	67
треонин threonine	126	128	135	127
триптофан tryptophan	35	39	40	40
фенилаланин phenyl alanine	133	136	139	137
Частично заменимые Partially non-essential	177	181	185	178
аргинин arginine	104	107	110	103
гистидин histidine	73	74	75	75
Заменимые: Non-essential	1077	1120	1153	1157
аланин alanine	54	58	63	66
аспарагиновая к-та aspartic acid	131	133	124	132
глицин glycine	42	47	45	44
глутаминовая к-та glutamic acid	457	468	467	463
пролин proline	212	216	244	243
серин serine	93	98	110	106
тирозин tyrosine	76	83	82	87
цистин cysteine	13	17	18	16
Общее количество аминокислот Total number of amino acids	2420	2500	2562	2541

Таблица 10.

Аминокислотный скор новых видов молочных десертов

Table 10.

Amino-Acid Score of New Types of Dairy Desserts

Аминокислоты Amino Acid	Вид молочного десерта Type of Dairy Dessert									
	Справочная шкала ФАО/ВОЗ FAO/WHO reference scale		без наполнителя without additives		клюквенный cranberry		ежевичный blueberry		черничный blackberry	
	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A
Валин Valine	50	100	74,8	149,6	74,8	149,6	72,6	145,2	73,9	147,8
Изолейцин Isoleucine	40	100	67,3	168,2	67,3	168,2	66,0	164,9	66,9	167,2
Лизин Lysine	55	100	84,3	153,0	83,3	151,5	81,1	147,4	82,8	150,5
Метионин+Цистин Methionine +cysteine	35	100	31,8	90,8	36,2	103,4	38,9	111,1	35,3	100,8
Лейцин Leucine	70	100	107,0	152,8	106,1	151,5	105,6	150,8	105,2	150,3
Триптофан Tryptophan	10	100	14,4	144,0	15,7	157,0	15,8	158	15,6	156,0
Треонин Threonine	40	100	52,0	130,0	51,39	128,4	52,9	132,3	50,1	125,2
Фенилаланин + тирозин Phenylalanine + tyrosine	60	100	86,3	143,8	111,9	186,5	114,0	190	111	185,0

Примечание: С – содержание аминокислоты в мг/1 г белка продукта; А – аминокислотный скор, % относительно справочной шкалы ФАО/ВОЗ

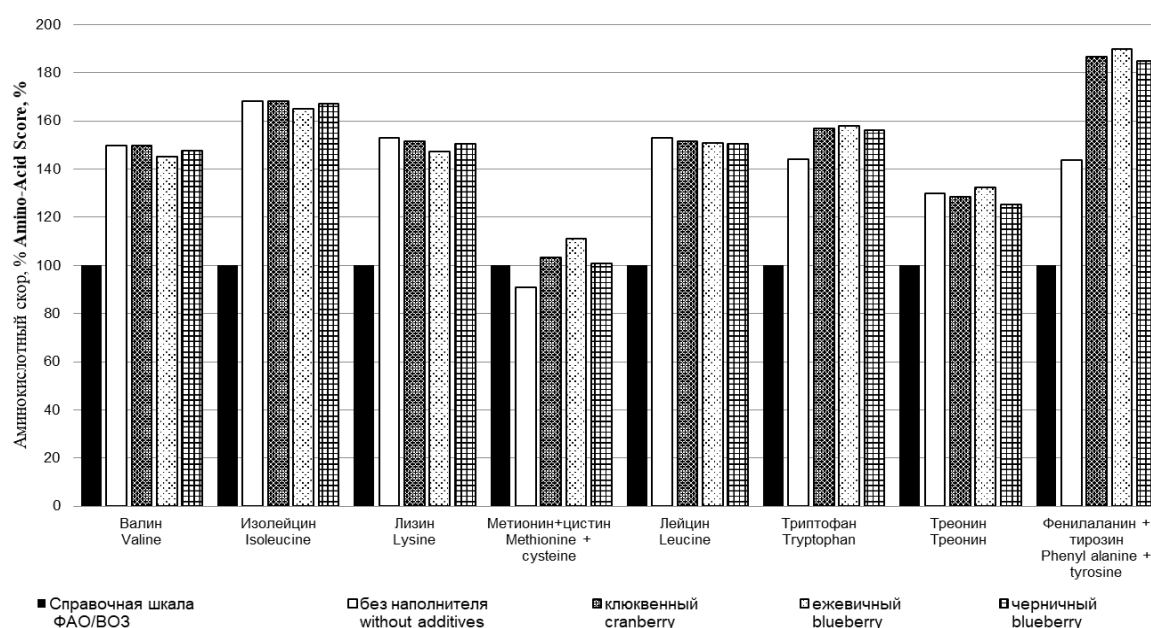


Рисунок 2. Аминокислотный скор молочных десертных продуктов относительно шкалы ФАО/ВОЗ

Figure 2. Amino acid scoring of dairy dessert products in relation to the FAO/WHO scale

Для нормальной жизнедеятельности человека необходимы витамины и витаминные комплексы, многие из которых участвуют в обмене веществ, обладают антиоксидантными свойствами, играют важную роль в регуляции

отдельных физиологических процессах. Содержание витаминов представлено в таблице 11. Содержание минеральных веществ представлено в таблице 12.

Таблица 11.

Содержание витаминов в молочных десертах

Table 11.

Content of Vitamins in Dairy Desserts

Витамины, мг/100 г Vitamins, mg/100 g	Вид молочного десерта Type of Dairy Dessert			
	без наполнителя without additives	клюквенный cranberry	ежевичный blueberry	черничный cranberry
B ₁	0,01 ± 0,001	0,03 ± 0,003	0,03 ± 0,003	0,03 ± 0,003
B ₂	0,10 ± 0,05	0,12 ± 0,08	0,12 ± 0,08	0,12 ± 0,08
B ₅	0,006 ± 0,004	0,013 ± 0,007	0,025 ± 0,005	0,015 ± 0,005
B ₆	0,002 ± 0,001	0,009 ± 0,001	0,005 ± 0,001	0,009 ± 0,001
C	12,5 ± 0,5	22,5 ± 0,5	22,5 ± 0,5	21,84 ± 0,16
PP	0,08 ± 0,002	0,27 ± 0,03	0,28 ± 0,02	0,23 ± 0,07
Токоферол эквивалент (Е эквивалент) Tocopherol equivalent (E equivalent)	0,20 ± 0,05	0,30 ± 0,05	0,31 ± 0,04	0,32 ± 0,08
β-каротин β-carotene	0,02 ± 0,008	0,09 ± 0,01	0,03 ± 0,007	0,03 ± 0,007

Таблица 12.

Содержание минеральных веществ в молочных десертах

Table 12.

Content of Minerals in the Dairy Desserts

Минеральные вещества, мг/100 Minerals, mg/100 g	Вид молочного десерта Type of Dairy Dessert			
	без наполнителя without additives	клюквенный cranberry	ежевичный blueberry	черничный blackberry
Na	48,6 ± 1,4	55,6 ± 3,4	57,1 ± 3,9	56,1 ± 3,9
K	136,3 ± 4,7	147,0 ± 9,0	153,2 ± 9,8	142,2 ± 8,8
Ca	96,5 ± 10,5	102,9 ± 12,1	104,1 ± 12,9	103,1 ± 12,4
Mg	10,2 ± 0,8	13,5 ± 1,5	14,5 ± 1,5	12,9 ± 1,1
P	94,3 ± 4,7	102,4 ± 6,6	103,9 ± 7,1	102,6 ± 6,4
Fe	2,2 ± 0,3	4,1 ± 0,2	4,1 ± 0,2	4,1 ± 0,2

Минеральные вещества также принадлежат к числу незаменимых пищевых факторов. Минеральные вещества не обладают энергетической ценностью, но необходимы для протекания

различных физиологических процессов в организме. Экспериментальным путем определена пищевая и энергетическая ценность в молочных десертах (таблица 13).

Таблица 13.

Энергетическая ценность молочных десертов

Table 13.

Caloric Content of Dairy Desserts

Молочный десерт Dairy Dessert	Массовая доля, % Mass fraction, %				Энергетическая ценность, ккал Caloric content, kcal
	жир fats	белок proteins	углеводы carbohydrates	зола ash	
Клюквенный Cranberry	7,58 ± 0,2	2,50 ± 0,2	13,04 ± 0,1	0,73 ± 0,3	127–133
Ежевичный Blackberry	7,60 ± 0,2	2,56 ± 0,2	13,09 ± 0,1	0,76 ± 0,3	128–134
Черничный Blueberry	7,61 ± 0,2	2,54 ± 0,2	13,31 ± 0,1	0,74 ± 0,3	129–135

Технологический процесс производства молочных десертов с сорбито-паточными сиропами осуществляется следующим образом:

В результате обсуждения аналитических данных, полученных экспериментальным, путем разработаны рецептуры и биотехнологические параметры производства молочных ферментированных десертов здорового питания:

Молоко, предназначенное для выработки продукта, очищают от механических примесей, подогревают до температуры (43 ± 2)°C и сепарируют для получения сливок с м.д.ж. 10%, в которые вносят при перемешивании сухую молочную сыворотку до содержания сухих веществ в нормализованной смеси не менее 16,4% и м.д.ж. 7,6%. Далее полученную нормализованную смесь перемешивают в течение 10–15 минут и подогревают до температуры (65–70)°C, гомогенизируют при давлении (18 ± 2) МПа в течение 3–5 секунд, пастеризуют при температуре (90 ± 3)°C с выдержкой 50–60 секунд. Пастеризованную сливочную смесь охлаждают до температуры заквашивания (39 ± 1)°C.

В охлажденную нормализованную смесь вносят закваску, содержащую бифидобактерии, молочнокислые стрептококки и молочнокислые палочки, в количестве 5% от массы заквашиваемой нормализованной смеси. Смесь с закваской

перемешивают в течение 10–15 мин и оставляют в покое на 3,5–4,0 ч до нарастания титруемой кислотности в пределах 60–65°Т.

Затем в ферментированную при температуре 38–40 °C нормализованную смесь, вносят предварительно приготовленный и охлажденный до температуры 38–40 °C ягодный сироп, предварительно подготовленные растворы лактата железа и аскорбиновой кислоты.

Готовый продукт при температуре 38–40 °C фасуется в полистироловые стаканчики массой 125 г. Упакованный продукт направляется в холодильную камеру для доохлаждения до температуры (4 ± 2)°C и термостатирования 2,0–3,0 ч, при этом идет процесс формирования структуры продукта.

Молочные десерты рекомендуется как для массового питания, так и для профилактического питания населения различных возрастных групп.

Возможность использования данного продукта для диетического питания, достигается в основном вследствие включения в состав продукта функциональных ингредиентов.

Удовлетворение суточной физиологической потребности организма человека в биологически активных веществах при употреблении молочных десертов с добавлением ягодных сиропов (на 200 мл) представлено в таблице 14.

Таблица 14.

Удовлетворение суточной физиологической потребности организма человека в биологически активных веществах при употреблении молочных десертов с добавлением ягодных сиропов (на 200 мл)

Table 14.

Satisfaction of the daily physiological needs of the human body for biologically active substances when eating dairy desserts with the addition of berry syrups (per 200 ml)

Показатель Indicator	Физиологическая потребность для взрослых Physiological need for adults	Удовлетворение суточной физиологической потребности при употреблении 1 порции (200 мл) молочного десерта, % Satisfaction of daily physiological needs when consuming 1 serving (200 ml) of milk dessert, %		
		клюквенный cranberry	ежевичный blueberry	черничный blackberry
Минеральные вещества, мг Minerals, mg				
Ca	1000 мг/сут	20,6–23,4	20,8–23,2	20,6–23,4
P	800 мг/сут	25,6–27,4	26,0–28,0	25,7–28,3
Fe	14 мг/сут	58,6–60,4	58,6–60,4	58,6–60,4
Mg	400 мг/сут	6,75–8,25	7,25–8,25	6,45–8,55
K	3500 мг/сут	8,4–12,6	8,8–12,2	8,1–11,9
Mn	2 мг/сут	19,0–21,0	31–34	30,0–32,0
Co	10 мкг/сут	9,2–10,8	6,8–9,2	6,1–8,9
Mo, мкг mcg	70 мкг/сут	18,4–20,6	4,9–9,1	7,3–9,7
Витамины, мкг Vitamins, mg				
A, мкг mcg	800 мкг/сут	22,5–24,5	7,5–8,5	7,5–8,5
E	10 мг/сут	6,0–8,0	6,2–8,0	6,4–8,0
C	60 мг/сут	75,0–80	75–80	72,8–78,2
B ₁	1,4 мг/сут	4,3–7,7	4,3–7,7	4,3–7,7
B ₂	1,6 мг/сут	15,0–18,0	15,0–18,0	15,0–18,0
PP	18 мг/сут	3,0–5,0	3,1–5,0	2,6–4,4
фолацин, мкг folacin, mcg	200 мкг/сут	40,0–45,0	–	68,0–75,0
пантотеновая к-та pantothenic acid	6 мг/сут	4,3–7,7	8,3–9,7	5,0–8,0
Фенольные соединения Phenolic compounds:				
антоцианы anthocyanins	50 мг/сут	13,12–18,0	85,0–100,0	85,0–100
катехины catechins	200 мг/сут	17,8–19,2	23,1–25,9	22,3–24,7
флавонолы flavonols	30 мг/сут	38,4–40,6	–	–

Заключение

Вышеизложенные аналитические и экспериментальные результаты позволили сделать следующие выводы:

- разработан биологически активный компонент на основе дикорастущего ягодного сырья Сибирского региона России в виде ягодных сиропов;
- определены рецептура и биотехнологические параметры производства нового вида молочного десерта, обогащенного функциональными ингредиентами, что позволяет отнести его к продуктам здорового;

– снижена себестоимость молочного десерта за счёт технологичности, доступности и дешевизны растительного сырья.

Практическим результатом проведенных научных исследований явилась техническая документация предприятия на молочный десертный продукт.

Научная новизна молочного десертного продукта отражена в патенте РФ на изобретение № 2458517 «Композиция для производства молочного десерта».

Литература

- 1 Arceusz A., Wesolowski M., Konieczynski P. Methods for extraction and determination of phenolic acids in medicinal plants // Natural Product Communications. 2013. V. 8. № 12. P. 1821–1830.
- 2 Berner L.A., Keast D.R., Bailey R.L., Dwyer J.T. Fortified foods are major contributors to nutrient intakes in diets of US children and adolescents // Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics. 2014. V. 114. № 7. P. 1009–1022.
- 3 Bisogni C., Jastran M., Seligson M., Thompson A. How people interpret healthy eating: contributions of qualitative research // Journal of Nutrition Education and Behavior. 2012. V. 44. № 4. P. 282–301.
- 4 Bowen C., Zhang Y. Anthocyanin content, antioxidant, anti-inflammatory and anticancer properties of blackberry and raspberry fruits // Journal of Food Composition and Analysis. 2010. V. 23. P. 554–560.
- 5 Casala E., Matthys C., Monitoring P.S., Baka A. et al. Monitoring and addressing trends in dietary exposure to micronutrients through voluntarily fortified foods in the European Union // Trends in Food Science & Technology. 2014. V. 37. № 2. P. 152–161.
- 6 Colombo F., Restani P., Biella S. Botanicals in functional foods and food supplements: tradition, efficacy and regulatory aspects // Applied sciences-basel. 2020. V. 10. P. 2–15.
- 7 Cook J.D., Morch T.A., Lunch S.R. The inhibitory effect of coy products on nonheme iron absorption in man // The American journal of clinical nutrition. 1981. V. 34. № 12. P. 2622–2629.

- 8 Kloczko I., Tymoszevska E. Effect of selected technological processes on content of mineral components and phytic acid in soybean and common bean seeds // *Annals of Warsaw Agricultural University. Food Technology and Nutrition*. 1989. № 18.
- 9 Joint F.A.O. et al. Requirements of vitamin A, iron, folate and vitamin B12. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation. 1988.
- 10 Gordon D.T., Godber J.S. The enhancement of nonheme iron bioavailability by beef protein in the rat // *The Journal of nutrition*. 1989. V. 119. № 3. P. 446-452.
- 11 Granato D., Branco G.F., Nazzaro F., Cruz A.G. et al. Functional foods and nondairy probiotic food development: trends, concepts and products // *Comprehensive reviews in food science and food safety*. 2010. V. 9. P. 292-302.
- 12 Kondratjuk N.V., Bol'shakova V.L., Padalka A.M. Development of technologies for a low-calorie dessert with probiotic microorganisms // *World science*. 2016. V. 10. № 14. P. 17-19.
- 13 Lee J., Durst R.W., Wrolstad R.E. Impact of juice processing on blueberry anthocyanins and polyphenolics: comparison of two pretreatments // *Journal of food science*. 2002. V. 67. № 5. P. 1660-1667.
- 14 Luhch S.R., Beard J., Dassenko S.A., Cook J.D. Iron absorption from legumes in humans // *The American journal of clinical nutrition*. 1984. V. 40. № 1. P. 42-47.
- 15 Mironova I.V., Galieva Z.A., Konovalov S.A., Bychkova T.S. et al. Enrichment of milk ice cream with bee products // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. V. 613. № 1. P. 012082.
- 16 Ścibisz I., Mitek M. The changes of antioxidant properties in highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) during freezing and long-term frozen storage // *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*. 2007. V. 6. № 4. P. 75-81.
- 17 Seeram N.P., Nair M.G. Inhibition of lipid peroxidation and structure- activity-related studies of the dietary constituents anthocyanins, anthocyanidins, and catechins // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002. V. 50. № 19. P. 5308-5312. doi: 10.1021/jf025671q
- 18 Solomon A.M. Fermented milk products using vegetable fillings // *Colloquium-journal*. 2020. V. 28. № 80. P. 65-69.
- 19 Suychinov A., Rebezov M.B., Maksimuk N.N., Khairullin M.F. et al. Vitamins and their role in human body // *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2019. V. 11. № 3. P. 1246-1248.
- 20 Wu X., Co G, Prior R.L. Absorption and metabolism of anthocyanins in elderly women after consumption of elderberry or blueberry // *The Journal of Nutrition Bethesda*. 2002. V. 132. № 7. P. 1865-1871.

References

- 1 Arceusz A., Wesolowski M., Konieczynski P. Methods for extraction and determination of phenolic acids in medicinal plants. *Natural Product Communications*. 2013. vol. 8. no. 12. pp. 1821-1830.
- 2 Berner L.A., Keast D.R., Bailey R.L., Dwyer J.T. Fortified foods are major contributors to nutrient intakes in diets of US children and adolescents. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. 2014. vol. 114. no. 7. pp. 1009-1022.
- 3 Bisogni C., Jastran M., Seligson M., Thompson A. How people interpret healthy eating: contributions of qualitative research. *Journal of Nutrition Education and Behavior*. 2012. vol. 44. no. 4. pp. 282-301.
- 4 Bowen C., Zhang Y. Anthocyanin content, antioxidant, anti-inflammatory and anticancer properties of blackberry and raspberry fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2010. vol. 23. pp. 554-560.
- 5 Casala E., Matthys C., Monitoring P.S., Baka A. et al. Monitoring and addressing trends in dietary exposure to micronutrients through voluntarily fortified foods in the European Union. *Trends in Food Science & Technology*. 2014. vol. 37. no. 2. pp. 152-161.
- 6 Colombo F., Restani P., Biella S. Botanicals in functional foods and food supplements: tradition, efficacy and regulatory aspects. *Applied sciences-basel*. 2020. vol. 10. pp. 2-15.
- 7 Cook J.D., Morch T.A., Lunch S.R. The inhibitory effect of soy products on nonheme iron absorption in man. *The American journal of clinical nutrition*. 1981. vol. 34. no. 12. pp. 2622-2629.
- 8 Kloczko I., Tymoszevska E. Effect of selected technological processes on content of mineral components and phytic acid in soybean and common bean seeds. *Annals of Warsaw Agricultural University. Food Technology and Nutrition*. 1989. no. 18.
- 9 Joint F.A.O. et al. Requirements of vitamin A, iron, folate and vitamin B12. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation. 1988.
- 10 Gordon D.T., Godber J.S. The enhancement of nonheme iron bioavailability by beef protein in the rat. *The Journal of nutrition*. 1989. vol. 119. no. 3. pp. 446-452.
- 11 Granato D., Branco G.F., Nazzaro F., Cruz A.G. et al. Functional foods and nondairy probiotic food development: trends, concepts and products. *Comprehensive reviews in food science and food safety*. 2010. vol. 9. pp. 292-302.
- 12 Kondratjuk N.V., Bol'shakova V.L., Padalka A.M. Development of technologies for a low-calorie dessert with probiotic microorganisms. *World science*. 2016. vol. 10. no. 14. pp. 17-19.
- 13 Lee J., Durst R.W., Wrolstad R.E. Impact of juice processing on blueberry anthocyanins and polyphenolics: comparison of two pretreatments. *Journal of food science*. 2002. vol. 67. no. 5. pp. 1660-1667.
- 14 Luhch S.R., Beard J., Dassenko S.A., Cook J.D. Iron absorption from legumes in humans. *The American journal of clinical nutrition*. 1984. vol. 40. no. 1. pp. 42-47.
- 15 Mironova I.V., Galieva Z.A., Konovalov S.A., Bychkova T.S. et al. Enrichment of milk ice cream with bee products. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. vol. 613. no. 1. pp. 012082.
- 16 Ścibisz I., Mitek M. The changes of antioxidant properties in highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) during freezing and long-term frozen storage. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*. 2007. vol. 6. no. 4. pp. 75-81.
- 17 Seeram N.P., Nair M.G. Inhibition of lipid peroxidation and structure- activity-related studies of the dietary constituents anthocyanins, anthocyanidins, and catechins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002. vol. 50. no. 19. pp. 5308-5312. doi: 10.1021/jf025671q
- 18 Solomon A.M. Fermented milk products using vegetable fillings. *Colloquium-journal*. 2020. vol. 28. no. 80. pp. 65-69.
- 19 Suychinov A., Rebezov M.B., Maksimuk N.N., Khairullin M.F. et al. Vitamins and their role in human body. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2019. vol. 11. no. 3. pp. 1246-1248.
- 20 Wu X., Co G, Prior R.L. Absorption and metabolism of anthocyanins in elderly women after consumption of elderberry or blueberry. *The Journal of Nutrition Bethesda*. 2002. vol. 132. no. 7. pp. 1865-1871.

Сведения об авторах

Сергей А. Коновалов к.т.н., доцент, кафедра продуктов питания и пищевой биотехнологии, Омский государственный аграрный университет, Институтская площадь, 1, г. Омск, 644008, Россия, sa.konovalev@omgau.org

 <https://orcid.org/0000-0003-3537-8081>

Наталья Б. Гаврилова д.т.н., профессор, кафедра продуктов питания и пищевой биотехнологии, Омский государственный аграрный университет, Институтская площадь, 1, г. Омск, 644008, Россия, nb.gavrilova@omgau.org

 <https://orcid.org/0000-0001-8544-4214>

Константин К. Полянский д.т.н., профессор, кафедра коммерции и товароведения, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова, ул. Карла Маркса, 67А, Россия

 <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Михаил П. Щетинин д.т.н., профессор, вице-президент, Международная промышленная академия, 1-й, Щипковский пер., д 20, г. Москва, 115093, Россия, m_p_sh1953@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9229-9251>

Наталья Л. Чернопольская д.т.н., профессор, кафедра продуктов питания и пищевой биотехнологии, Омский государственный аграрный университет, имени П.А. Столыпина, Институтская площадь, 1, г. Омск, 644008, Россия, nl.chernopolskaya@omgau.org

 <https://orcid.org/0000-0003-1359-9190>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Sergey A. Konovalev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food and food biotechnology department, Omsk State Agrarian University named after. P.A. Stolypin, Institutskaia square, 1 Omsk, 644008, Russia, sa.konovalev@omgau.org

 <https://orcid.org/0000-0003-3537-8081>

Natalia B. Gavrilova Dr. Sci. (Engin.), professor, food and food biotechnology department, Omsk State Agrarian University named after. P.A. Stolypin, Institutskaia square, 1 Omsk, 644008, Russia, nb.gavrilova@omgau.org

 <https://orcid.org/0000-0001-8544-4214>

Konstantin K. Polyansky Dr. Sci. (Engin.), professor, commerce and commodity science department, Plekhanov Russian University of Economics, 67A Karl Marxa St., Russia,

 <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Mikhail P. Shchetinin Dr. Sci. (Engin.), professor, vice president, International Industrial Academy, 1st, Shchipkovsky lane, d 20, Moscow, 115093, Russia, m_p_sh1953@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9229-9251>

Natalia L. Chernopolskaya Dr. Sci. (Engin.), professor, food and food biotechnology department, Omsk State Agrarian University named after. P.A. Stolypin, Institutskaia square, 1 Omsk, 644008, Russia, nl.chernopolskaya@omgau.org

 <https://orcid.org/0000-0003-1359-9190>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 17/01/2024	После редакции 08/02/2024	Принята в печать 26/02/2024
Received 17/01/2024	Accepted in revised 08/02/2024	Accepted 26/02/2024

Metabolic processes in bone tissue under exposure to hyperthermia and administration of allogenic calcium-containing biomaterial "Lyoplast"

Elena V. Pisareva	¹	pisareva.elena-v@ya.ru	 0000-0002-5867-5727
Mikhail Yu. Vlasov	^{1,2}	mvlasov1@rambler.ru	 0000-0003-4995-5839
Larisa T. Volova	²	l.t.volova@samsmu.ru	 0000-0002-8510-3118
Konstantin S. Ishchenko	¹	konstantin@bogatoe.info	 0000-0001-5981-666X
Svetlana S. Sergeeva	¹	lanochka-sergeeva.2012@ya.ru	 0000-0003-1744-8453

¹ Samara National Research University, Moscow Hwy, 34, Samara, 443086, Russia

² Samara State Medical University, Chapaevskaya St, 89, Samara, 443099, Russia

Abstract. Stress increases the production of glucocorticoids, which enhance bone resorption processes. To treat bone tissue diseases, medicine uses drugs that regulate phosphorus-calcium metabolism. A promising biomaterial is a bone mineral component (BMC) of allogenic origin, containing hydroxyapatite and amorphous calcium phosphate, which enhances bone tissue regeneration. In this work the parameters of bone tissue metabolism were studied under daily stress exposure to high temperature and intramuscular administration of a suspension of bone mineral component "Lyoplast" to animals. There was an increase in cortisol and a decrease in alkaline phosphatase activity in the blood serum subjected to hyperthermia. Serum alkaline phosphatase activity in the hyperthermia group and the placebo group decreased by an average of 25%. The enzyme activity in animals that were injected with the bone component did not differ statistically from the control level. In animals exposed to hyperthermia due to the administration of a bone mineral component, the level of parathyroid hormone increased simultaneously with the calcitonin level. Serum parathyroid hormone levels were lower in the hyperthermia group than in the control one. A reciprocal relationship between two hormones, parathyroid hormone and calcitonin, has been established. Thus, the introduction of a suspension of the bone mineral component helps to reduce the intensity of osteoresorption. The use of biomaterial obtained by the original method helps to reduce the intensity of osteoresorption in the high-temperature model. With the introduction of a suspension of the bone mineral component, the osteodestructive effect of endogenous glucocorticoids is smoothed out and largely eliminated. Given the high potential for practical use of the bone mineral component, further research of its safety and effectiveness in other biological models is necessary with further implementation in clinical practice.

Keywords: high temperature, mineral component, bone tissue, cortisol, alkaline phosphatase, parathyroid hormone, calcitonin, osteoresorption.

Introduction

Excessive glucocorticoid (GK) content in the body is the main cause of secondary osteoporosis, when there is a rapid loss of bone mass, the risk of fractures increases. An increase in the level of GK can be not only exogenous, but also of endogenous nature, in particular, due to the development of stress [1]. Stress increases the production of steroid hormones glucocorticoids (GCs), which enhance the processes of bone resorption. At the cellular level, the effect of GCs disrupts the activity of osteoblasts, slowing down the process of differentiation of progenitor cells. GCs enhances osteoblast apoptosis, reduce the synthesis of collagen, prostaglandins and bone growth factors, which inhibits the process of bone formation [2–4].

For the treatment of bone tissue diseases in medicine drugs that regulate phosphorus-calcium metabolism in the body are used. One of the promising biomaterials is the allogenic BMC which contributes to an increase in bone tissue regeneration. The main BMC components are hydroxyapatite and amorphous calcium phosphate, which are widely used as a starting material for the synthesis of medical coatings. A feature of the biological (allogenic) BMC

is good biocompatibility, self-absorption and stimulation of bone formation processes [5]. Some of its physical characteristics are described [6].

Therefore, the purpose of this research was to study the parameters of bone metabolism in animals exposed to elevated ambient temperatures and ectopic administration of BMC.

Methods

White adult outbred male laboratory rats ($n = 24$) were randomly assigned into 4 groups (6 animals per group): 1 – rats without influence (control group); 2 – rats induced high temperature (hT), 3 – rats induced hT and treated BMC (100 mg/kg) on 14th day (hT + BMC), 4 – rats induced hT and treated 0,9% saline on 14th day (placebo group). Animals had free access to food and water at all period (28 days) and were housed with a light/dark cycle of 12 h.

The simulation of high temperature conditions was carried out in a specialized thermal chamber as described earlier [7]. Briefly, there was a large number of small holes in the cell floor through which heated air was supplied from an external air source of heat. The air temperature was the same in all parts of the cell. The exposure time was 12 min,

Для цитирования

Писарева Е.В., Власов М.Ю., Волова Л.Т., Ищенко К.С., Сергеева С.С. Метаболические процессы в костной ткани при воздействии гипертермии и введении аллогенного кальцийсодержащего биоматериала «Люопласт» // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 84–88. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-84-88

For citation

Pisareva E.V., Vlasov M.Yu., Volova L.T., Ishchenko K.S., Sergeeva S.S. Metabolic processes in bone tissue under exposure to hyperthermia and administration of allogenic calcium-containing biomaterial "Lyoplast". Vestnik VGUI [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 84–88. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-84-88

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

the air temperature was 70 °C. BMC was obtained according to an original patented technique “Lyo-plast” [8] and was injected intramuscularly into the rat’s thigh muscle on day 14th as sterile suspension in saline. Animal welfare was ensured according to relevant international experimental animal rules and guidelines.

After 28 day the animals were stunned and killed by decapitation. Blood was taken from the trunk into tubes without anticoagulant and the sera separated after centrifugation at 4 °C. Sera were stored at -25 °C until required for assay.

Total and free calcium, inorganic phosphate (P_i), alkaline phosphatase (ALP) activity in sera were measured on Cobas Integra 400 (Roche, Switzerland). The concentrations of PTH, calcitonin and cortisol were determined on StatFax 3200 (Awareness Technology, USA) using a commercial enzyme-linked immunosorbent assay kits (Cloud-Clone

Corp, USA). The Shapiro-Wilk test was used to assess for data normality. The data were analyzed by Student’s t-test for independent means in SigmaPlot 12.0. The results are presented as mean and standard error of the mean (M ± SEM).

Results

The results of the study are presented in the table. After 28 days of hT influence on rats the level of cortisol in the sera of all groups increased 10-fold relative to the control group. The levels of ionized calcium are within normal limits, there are no significant changes in comparison with the control, however, a tendency for the level to decrease in the group with BMC by 5% was observed. Changes in total calcium levels are similar to ionized calcium. There is a statistically significant decrease in the level in the hT + BMC group.

Table 1.

Biochemical rat serum markers of bone metabolism, M±SEM

Index	Control	hT	hT + BMC	hT + saline
Cortisol, μ/dl	0,92 ± 0,04	9,07 ± 0,46 *	10,08 ± 0,51 *	9,55 ± 0,47 *
Total calcium, mmol/L	2,19 ± 0,11	2,22 ± 0,11	1,93 ± 0,10 *	2,24 ± 0,12
Free calcium, mmol/L	1,19 ± 0,05	1,19 ± 0,05	1,12 ± 0,04	1,20 ± 0,05
P _i , mmol/L	1,92 ± 0,10	1,58 ± 0,07 *	1,44 ± 0,07 *	1,60 ± 0,08 *
ALP, mU/L	191,80 ± 9,59	142,6 ± 7,13 *	191,40 ± 9,40	141,00 ± 7,10 *
Calcitonin, pg/ml	25,61 ± 1,28	85,3 ± 4,26 *	62,43 ± 3,12 *	84,10 ± 4,20 *
PTH, pg/ml	2,22 ± 0,11	1,89 ± 0,09 *	2,94 ± 0,14 *	1,89 ± 0,09 *

* – differences from control group are statistically significant with the level of significance $p < 0,05$

The content of P_i in the test groups is significantly lower than in the control group. In the placebo and hT groups, the levels were on average 17% lower than in control, at the same time the phosphorus content in the BMC injection group dropped by 25%. We also found an increase of calcitonin levels in all groups.

A significant decrease of serum ALP activity was revealed in the group with hT and the placebo group on average by 25%. At the same time, the level of activity in the group with BMC practically does not differ from the control level.

The serum PTH level was lower in the group hT then in control group. Instead of this the PTH level in group hT + BMC was higher than in control. Thus a reciprocal relationship between the two hormones (PTH and calcitonin) was determined (a decrease in hormone levels in groups with hT and placebo).

Discussion

Increased serum cortisol level is the body's response to stress caused by hyperthermia. Such a high level of glucocorticoids causes osteoresorption of bone tissue through an increase in the activity of osteoclasts. An increase in osteoclast activity occurs through the activation of the RANK pathway. By acting on it, GCs enhances the differentiation of hematopoietic stem cells into osteoclasts. At the same time, GCs affects osteoblasts through the Wnt

signal (increase osteoblast apoptosis) and the RANKL pathway (reduce the differentiation of mesenchymal stromal cells into osteoblasts) [9]. Taken together, this triggers the pathogenic processes of glucocorticoid osteoporosis [10, 11].

The identical values of ionized calcium in the three groups are explained by the fact that calcium is a vital participant in most biochemical processes, without which this processes are disrupted. Calcium levels are regulated by many systems, and when it decreases, biochemical systems are activated to maintain normal calcium levels [12, 13]. A slight drop in the level of calcium is possibly associated with the increased activity of osteoblasts, one of the main functions of which is the involvement of phosphorus and calcium ions into the bone tissue [14].

Since it is the level of total calcium that more accurately demonstrates the biochemical processes associated with bone tissue, this decrease can be considered as an indicator of increased activity of the body's control systems. Presumably, the injection of BMC caused an increase in the level of calcium in the blood, in response to which the body increased the production of substances associated with a decrease in calcium, which, in turn, increased the activity of osteoblasts. The decline of P_i can be caused by many factors, the most probable of which is the active use of phosphorus ions for the synthesis of organic compounds involved in the response to heat stress followed bone resorption [15, 16].

ALP is one of the markers of bone tissue osteogenesis, and a decrease in its activity levels indicates a decrease in osteoblast activity. Based on this, it can be concluded that in the test groups without BMC injection, the activity of osteoblasts is significantly lower than in the control group, and the group with BMC showed activity equal to the control due to the positive effect of BMC. Also, the decrease of ALP activity can be indirectly explained by the decrease in the levels of phosphorus in the blood of animals, which disrupts the synthesis of some substances that require phosphorylation and dephosphorylation for transport [17]. The decreased activity of alkaline phosphatase in experimental groups of animals without BMC administration may be associated with a decrease of the intensity of osteosynthesis under the influence of a high level of glucocorticoids.

Thus the levels of calcium, phosphorus, and alkaline phosphatase activity indicate high osteoblast activity in the BMC group, while in other test groups the data indicate a decrease in osteogenesis activity and the prevalence of osteoresorption processes. A decrease in the content of total calcium by 5%, ionized calcium by 11% and phosphorus by 25% in the group with BMC injection demonstrates the main function of osteoblasts to incorporate these substances into bone tissue, which, against the background of osteoresorption processes occurring in all three groups, is a positive factor influence of BMC. The fact that the activity of alkaline phosphatase in this group practically did not change, while in other test groups the indicator decreased by 25%, emphasizes the activity of the bone remodeling process.

The release of calcitonin into the blood occurs when the level of calcium in the blood is elevated. This hormone affects osteoblasts, decreasing cell apoptosis and increasing the differentiation of preosteoblasts [18]. Since osteoblasts use calcium ions from the blood to incorporate them into bone tissue, the level of calcium in the blood decreases. The high levels of the hormone in the test groups are explained by osteoresorption of bone tissue, in which calcium is released into the blood. The processes of calcium level control are triggered and the production of this hormone increases, leading to an increase in remodeling activity.

However, in the hT + BMC group, the PTH level is significantly higher than in the other groups: 32.4% higher than in the control group and 55% higher than in other test groups. The level of PTH during the experiment in this group rose periodically, intermittently, and the hormone, in addition to the main function, showed a secondary function, promoting the activation of osteoblasts [19].

The main function of parathyroid hormone is the release of calcium from the bones when its level in the blood is low. This is accomplished by inhibition of osteoblast activity with a simultaneous increase in osteoclast activity, increased differentiation of progenitor cells into mature cells and a decrease in osteoclast apoptosis [20]. The secondary function of PTH is to reduce the production of inhibitors of the Wnt signal and increase osteoblast activity [21].

The content of calcitonin and PTH in blood serum in the groups with hyperthermia and placebo demonstrates the expected reciprocal dependence, however, in the group with BMC, the content of PTH did not fit this dependence, remaining high (34.3% compared with calcitonin and 55% compared with other groups) with a high level of calcitonin. This increase may be a manifestation of the secondary function of the hormone, when it activates osteoblasts with an intermittent effect and a high level, indirectly affecting the Wnt pathway by suppressing the synthesis of sclerostin and Dickkopf-1 [22, 23].

In general, BMC has a positive effect on bone tissue during endogenous glucocorticoid osteoresorption caused by increased stress. By causing periodic increases in PTH levels, BMC presumably indirectly triggers bone remodeling through the osteoblast Wnt signaling pathway.

Conclusion

This research indicates that the use of the biomaterial obtained by the original method helps to reduce the intensity of osteoresorption in the high temperature model. With the introduction of BMC, the osteodestructive effect of endogenous (with daily short-term hyperthermia) intake of glucocorticoids is smoothed out and largely eliminated. Partial or complete normalization of the structure and organomineral composition of bone tissue is found as a result of normalization of the ratio of the intensity of bone remodeling processes.

References

- 1 Kelly R.R., McDonald L.T., Jensen N.R. et al. Impacts of psychological stress on osteoporosis: clinical implications and treatment interactions. *Front Psychiatry*. 2019. no. 10. pp. 200.
- 2 Hang K., Ye C., Chen E. et al. Role of the heat shock protein family in bone metabolism. *Cell Stress Chaperones*. 2018. vol. 23. no. 6. pp. 1153–1164.
- 3 Takuma A., Kaneda T., Sato T. et al. Dexamethasone enhances osteoclast formation synergistically with transforming growth factor-beta by stimulating the priming of osteoclast progenitors for differentiation into osteoclasts. *J Biol Chem*. 2003. vol. 278. no. 45. pp. 44667–44674.
- 4 Xi L., De Falco P., Barbieri E. et al. Reduction of fibrillar strain-rate sensitivity in steroid-induced osteoporosis linked to changes in mineralized fibrillar nanostructure. *Bone*. 2020. vol. 131. pp. 115111.

- 5 Urazgildeev Z.I., Bushuev O.M., Berchenko G.N. The use of a collapan for the plate of osteomyelitic bone defects. Bulletin of traumatology and orthopedics N.N. Priorov. 2006. no. 2. pp. 31–34.
- 6 Esmailkhanian A., Sharifianjazi F., Abouchenari A. et al. Synthesis and characterization of natural nano-hydroxyapatite derived from turkey femur-bone waste. Appl Biochem Biotechnol. 2019. vol. 189. no. 3. pp. 919–932.
- 7 Podkovkin V.G., Pisareva E.V., Alenina N.V., The effect of high temperature on biochemical processes modified by perturbed geomagnetic field. Radiatsionnaia biologii, radioecologii. 2000. vol. 40. pp. 105–107.
- 8 Volova L.T., Podkovkin V.G., Pisareva E.V., Vlasov M.Yu. Bioimplant to restore the structure and volume of bone tissue. Patent RF, no. 2372892, 2008.
- 9 Deng S., Dai G., Chen S. et al. Dexamethasone induces osteoblast apoptosis through ROS-PI3K/AKT/GSK3 β signaling pathway. Biomed Pharmacoth. 2019. vol. 110. pp. 602–608.
- 10 Komori T. Glucocorticoid signaling and bone biology. Horm Metab Res. 2016. vol. 48. no. 11. pp. 755–763.
- 11 Wang T., Yu X., He C. Pro-inflammatory cytokines: cellular and molecular drug targets for glucocorticoid-induced-osteoporosis via osteocyte. Curr. Drug Targets. 2019. vol. 20. no. 1. pp. 1–15.
- 12 Martin A., David V., Quarles L.D. Regulation and function of the FGF23/klotho endocrine pathways. Physiol Rev. 2012. vol. 92. no. 1. pp. 131–155.
- 13 Lombardi G., Ziemann E., Banfi G., Corbetta S. Physical activity-dependent regulation of parathyroid hormone and calcium-phosphorous metabolism. Int J Mol Sci. 2020. vol. 21. no.15. pp. 5388.
- 14 Tian E., Watanabe F., Martin B., Zangari M. Innate biomineralization. Int J Mol Sci. 2020. vol. 21. no. 14. pp. 4820.
- 15 Confavreux C.B. Bone: from a reservoir of minerals to a regulator of energy metabolism. Kidney Int Suppl. 2011. vol. 79. no. 121. pp. 14–19.
- 16 Peri-Okonny P., Baskin K.K., Iwamoto G. et al. High-phosphate diet induces exercise intolerance and impairs fatty acid metabolism in mice. Circulation. 2019. vol. 139. no. 11. pp. 1422–1434.
- 17 Chinnadurai R.K., Saravanaraman P., Boopathy R. The significance of aryl acylamidase activity of acetylcholinesterase in osteoblast differentiation and mineralization. Mol Cell Biochem. 2018. vol. 440 (1–2). pp. 199–208.
- 18 Naot D., Musson D.S., Cornish J. The Activity of Peptides of the Calcitonin Family in Bone. Physiol Rev. 2019. vol. 99. no. 1. pp. 781–805.
- 19 Weng S.J., Yan D.Y., Gu L.J., Combined treatment with vitamin K2 and PTH enhanced bone formation in ovariectomized rats and increased differentiation of osteoblast in vitro. Chem. Biol. Interact. 2019. vol. 300. pp. 101–110.
- 20 Yao C.J., Lv Y., C.J. Zhang. MicroRNA-185 inhibits the growth and proliferation of osteoblasts in fracture healing by targeting PTH gene through down-regulating Wnt/ β – catenin axis: in an animal experiment. Biochem Biophys Res Commun. 2018. vol. 501. no. 1. pp. 55–63.
- 21 Matsumoto T., Kuriwaka-Kido R., Kondo T. Regulation of osteoblast differentiation by interleukin-11 via AP-1 and Smad signaling. Endocr J. 2012. vol. 59. no. 2. pp. 91–101.
- 22 Frenkel B., White W. Tuckermann J. Glucocorticoid-Induced Osteoporosis. Adv Exp Med Biol. 2015. vol. 872. pp. 179–215.
- 23 Delgado-Calle J., Sato A.Y., Bellido T. Role and mechanism of action of sclerostin in bone. Bone. 2017. vol. 96. pp. 29–37.

Information about authors

Contribution

Elena V. Pisareva Cand. Sci. (Biol.), head, biochemistry, biotechnology and bioengineering department, Samara National Research University, Moscow Hwy, 34, Samara, 443086, Russia, pisareva.elena-v@ya.ru

proposed a scheme of the experiment and organized production trials

 <https://orcid.org/0000-0002-5867-5727>

Mikhail Yu. Vlasov Cand. Sci. (Biol.), associate professor, biochemistry, biotechnology and bioengineering department, Samara National Research University, Moscow Hwy, 34, Samara, 443086, Russia; lead scientist, biotechnology research institute, Samara State Medical University, Chapaevskaya St, 89, Samara, 443099, Russia, mvlasov1@rambler.ru

wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

 <https://orcid.org/0000-0003-4995-5839>

Larisa T. Volova Dr. Sci. (Med.), director, biotechnology research institute, Samara State Medical University, Chapaevskaya St, 89, Samara, 443099, Russia, l.t.volova@samsmu.ru

consultation during the study

 <https://orcid.org/0000-0002-8510-3118>

Konstantin S. Ishchenko master student, ecology, botany and nature conservation department, Samara National Research University, Moscow Hwy, 34, Samara, 443086, Russia, konstantin@bogatoe.info

review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

 <https://orcid.org/0000-0001-5981-666X>

Svetlana S. Sergeeva master student, biochemistry, biotechnology and bioengineering department, Samara National Research University, Moscow Hwy, 34, Samara, 443086, Russia, lanochka-sergeeva.2012@ya.ru

proposed a scheme of the experiment and organized production trials

 <https://orcid.org/0000-0003-1744-8453>

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 18/01/2024

Accepted in revised 06/02/2024

Accepted 23/02/2024

Метаболические процессы в костной ткани при воздействии гипертермии и введении аллогенного кальцийсодержащего биоматериала «Лиопласт»

Аннотация. Стресс увеличивает выработку стероидных гормонов глюкокортикоидов, которые усиливают процессы резорбции кости. Для лечения заболеваний костной ткани в медицине используются препараты, регулирующие фосфорно-кальцевый обмен в организме. Перспективным биоматериалом является минеральный компонент кости аллогенного происхождения, содержащий гидроксипатит и аморфный фосфат кальция, способствующий усилению регенерации костной ткани за счет хорошей биосовместимости и стимуляция процессов костеобразования. В настоящей работе изучены параметры метаболизма костной ткани при ежедневном стрессовом воздействии высокой температуры и внутримышечном введении суспензии минерального компонента кости «Лиопласт» животным. Отмечено повышение кортизола и снижение активности щелочной фосфатазы в сыворотке крови животных, подвергнутых гипертермии. Активность щелочной фосфатазы в сыворотке крови в группе с гипертермией и группе плацебо снижалась в среднем на 25%. Активность фермента в группе животных, которым вводили костный компонент, статистически не отличалась от контрольного уровня. У животных, подвергшихся гипертермии на фоне введения минерального компонента кости, уровень паратгормона повышался одновременно с уровнем кальцитонина. Уровень паратгормона в сыворотке крови был ниже в группе с гипертермией, чем в контрольной группе. При этом уровень в группе с гипертермическим воздействием и введением минерального компонента кости был выше, чем в контроле, тем самым была установлена реципрокная связь между двумя гормонами - паратгормоном и кальцитонином. Таким образом, введение суспензии минерального компонента кости способствует снижению интенсивности остеорезорбции. Использование биоматериала, полученного оригинальным методом, способствует снижению интенсивности остеорезорбции в высокотемпературной модели. При введении суспензии минерального компонента кости остеодеструктивный эффект эндогенного приема глюкокортикоидов сглаживается и в значительной степени устраняется. С учетом высокого потенциала практического применения минерального компонента кости необходимы исследования его безопасности и эффективности на других биологических моделях с дальнейшим внедрением в клиническую практику.

Ключевые слова: высокая температура, минеральный компонент, костная ткань, кортизол, щелочная фосфатаза, паратгормон, кальцитонин, остеорезорбция.

Елена В. Писарева к.б.н., заведующий, кафедра биохимии, биотехнологии и биоинженерии, Самарский национальный исследовательский университет, Московское шоссе, 34, г. Самара, 443086, Россия, pisareva.elena-v@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5867-5727>

Лариса Т. Волова д.м.н., профессор, директор, научно-исследовательский институт биотехнологий, Самарский государственный медицинский университет, ул. Чапаевская, 89, г. Самара, 443099, Россия, l.t.volova@samsmu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8510-3118>

Светлана С. Сергеева магистр, м кафедра биохимии, биотехнологии и биоинженерии, Самарский национальный исследовательский университет, Московское шоссе, 34, г. Самара, 443086, Россия, lanochka-sergeeva.2012@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1744-8453>

Михаил Ю. Власов к.б.н., доцент, кафедра биохимии, биотехнологии и биоинженерии, Самарский национальный исследовательский университет, Московское шоссе, 34, г. Самара, 443086, Россия; ведущий научный сотрудник, научно-исследовательский институт биотехнологий, Самарский государственный медицинский университет, ул. Чапаевская, 89, г. Самара, 443099, Россия, mvlasov1@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4995-5839>

Константин С. Ищенко магистр, кафедра экологии, ботаники и охраны природы, Самарский национальный исследовательский университет, Московское шоссе, 34, г. Самара, 443086, Россия, konstantin@bogatoe.info

 <https://orcid.org/0000-0001-5981-666X>

К вопросу о получении зерновых дистиллятов из ферментированного сырья

Светлана Ю. Никитина, ¹	sunik@mail.ru	 0009-0009-3751-6477
Александр С. Гордиенко ²	lvz@vitebsk.by	
Наталья В. Зуева ³	nataspirit30@ya.ru	 0000-0003-2840-398X
Алексей Н. Яковлев ³	vip.alex2702@mail.ru	 0000-0002-3246-6628

1 ООО «НТЦ «Этанол», ул. Чапаева, д.124 Б/154, г. Воронеж, 394031, Россия

2 ОАО «Витебский-ликероводочный завод», «Придвинье», ул. Революционная, 45, г. Витебск, 210001, Республика Беларусь

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

Аннотация. Проведен анализ нормативной документации, патентных документов и оригинальных статей, посвященных получению спиртовых дистиллятов из зернового сырья, показано, что наличие традиционной сырьевой базы и незадействованных производственных мощностей существующих спиртовых заводов позволяет производителям стран ТС и других постсоветских республик выпускать зерновые дистиллированные напитки, создавая конкуренцию напиткам импортного производства. Охарактеризованы влияние основных примесей этанола на органолептические показатели целевого продукта, преимущества и недостатки непрерывной и периодической дистилляции, обсуждены особенности, возможности и ограничения применения различных методов перегонки, приведены составы установок непрерывного и периодического действия. При определении химического состава этанола чаще всего используется газовая хроматография, но для практических и научных целей целесообразно применять метод хроматографии с масс-спектр-детектированием, позволяющий установить наличие и содержание широкого круга конгенов. Проанализированы технические решения, позволяющие производить зерновой дистиллят на типовых брагоректификационных установках как в виде самостоятельного продукта, так и совместно с ректификованным спиртом, показана перспективность применения альтернативных физико-химических способов очистки многокомпонентных смесей, в том числе основанных на использовании окислительного потенциала озона. Установлено, что для получения конкурентоспособной продукции в РФ необходимо внедрение современных технологий ферментации и дистилляции; применение современного эффективного оборудования и комплексной автоматической системы управления технологическими процессами; усиление оперативного технологического контроля на каждой стадии производства.

Ключевые слова: ректификованный спирт, дистилляция, зерновой дистиллят, примеси, ферментированное сырье.

On the issue of obtaining grain distillates from fermented raw materials

Svetlana Yu. Nikitina ¹	sunik@mail.ru	 0009-0009-3751-6477
Alexander S. Gordienko ²	lvz@vitebsk.by	
Natalia V. Zueva ³	nataspirit30@ya.ru	 0000-0003-2840-398X
Alexey N. Yakovlev ³	vip.alex2702@mail.ru	 0000-0002-3246-6628

1 LLC "STC "Ethanol", Chapaeva st., 153/143 Voronezh, 293021, Russia

2 OJSC "Vitebsk Distillery", "Pridvinye", st. Revolutionary, 45, Vitebsk, 210001, Republic of Belarus

3 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 293026, Russia

Abstract. An analysis of regulatory documentation, patent documents and original articles devoted to the production of alcohol distillates from grain raw materials was carried out, it was shown that the presence of a traditional raw material base and unused production capacities of existing alcohol plants allows producers of the CU countries and other post-Soviet republics to produce distilled grain drinks, creating competition for imported drinks production. The influence of the main ethanol impurities on the organoleptic characteristics of the target product, the advantages and disadvantages of continuous and periodic distillation are characterized, the features, possibilities and limitations of the use of various distillation methods are discussed, and the compositions of continuous and periodic installations are given. When determining the chemical composition of ethanol, gas chromatography is most often used, but for practical and scientific purposes it is advisable to use the chromatography method with mass spectrum detection, which makes it possible to determine the presence and content of a wide range of congeners. Technical solutions that make it possible to produce grain distillate in standard distillation plants, both as an independent product and together with rectified alcohol, are analyzed; the prospects for using alternative physicochemical methods for purifying multicomponent mixtures, including those based on the use of the oxidative potential of ozone, are shown. It has been established that in order to obtain competitive products in the Russian Federation, it is necessary to introduce modern fermentation and distillation technologies; use of modern efficient equipment and a comprehensive automatic process control system; strengthening operational technological control at each stage of production.

Keywords: rectified spirit, distillation, grain distillate, impurities, fermented raw materials.

Для цитирования

Никитина С.Ю., Гордиенко А.С., Зуева Н.В., Яковлев А.Н. К вопросу о получении зерновых дистиллятов из ферментированного сырья // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 89–96. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-89-96

For citation

Nikitina S.Yu., Gordienko A.S., Zueva N.V., Yakovlev A.N. On the issue of obtaining grain distillates from fermented raw materials. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 89–96. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-89-96

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

В последние годы импортозамещение является основной тенденцией российского рынка крепкого дистиллированного алкоголя из зернового сырья. Уход ряда зарубежных брендов, сокращение поставок импортных напитков, а также увеличение их стоимости из-за курсовой разницы и усложнения логистики стимулирует развитие техники и технологии, а также расширение ассортимента этанолсодержащей продукции в странах ТС.

В 2017 году Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации введены в действие: ГОСТ 33723–2016 «Дистилляты зерновой. Технические условия» – в качестве национального стандарта РФ, Армении, Молдовы, Киргизии и Узбекистана; ГОСТ 33301–2015 «Напитки спиртные зерновые дистиллированные» – в качестве национального стандарта РФ, Армении, Казахстана и Киргизии; в Беларуси с 2014 г. действует ТУ ВУ600013329.016 «Дистилляты зерновые. Технические условия». Приведённые стандарты регламентируют производство продукции из дистиллированного этанола, а также порядок контроля её показателей безопасности и качественных характеристик.

Зерновые дистилляты получают перегонкой сброженного зернового или солодового сусла из зерна злаковых культур [1, 2]. Технология зернового дистиллята обычно включает стадии измельчения сырья, смешивания помола с водой, разваривания замеса, охлаждения разваренной массы, осахаривания растворенного крахмала ферментами солода или микробиологическими ферментными препаратами, сбраживания и дистилляции ферментированной смеси (бражки). Согласно нормативной документации в качестве сырья для производства может использоваться рожь (ГОСТ 16990, ГОСТ 16991, ГОСТ 27850); ячмень (ГОСТ 28672); кукуруза (ГОСТ 13634); пшеница (ГОСТ 9353); ячменный солод (ГОСТ 29294); ржаной солод (ГОСТ 29272); а также другие виды зернового сырья и солода по нормативным документам, действующим на территории государства, принявшего стандарт. Наличие традиционной сырьевой базы и незадействованных производственных мощностей существующих спиртовых заводов позволяет производителям стран ТС и других постсоветских республик выпускать зерновые дистиллированные напитки, создавая конкуренцию алкогольной продукции импортного производства различного ценового сегмента.

В настоящее время в заводских лабораториях для оценки химического состава спиртовых дистиллятов чаще всего используют методы, основанные на хроматографическом разделении микропримесей (ГОСТ 34675–2020 «Дистилляты зерновые и ромовые, дистиллят виски, напитки спиртные на их основе», ГОСТ 32039–2013 «Водка и спирт этиловый из пищевого сырья. Газохроматографический метод определения подлинности»), позволяющие определить от 10 до 30 примесей этанола (альдегиды, простые и сложные эфиры, спирты, карбоновые кислоты, кетоны, ароматические соединения) [2, 3]. Выбор данных компонентов обусловлен их существенным содержанием в ферментированном сырье и целевом продукте (составляющие сивушного масла, ацетальдегид, этилацетат), а также токсичностью (метанол, фурфурол). Между тем, в спиртовых дистиллятах и ректификатах из зернового сырья содержится более 250 органических примесей этанола (конгенеров) различного генезиса, не определяемых гостированными методиками [3–5]. Большая часть примесных соединений генерируется на стадиях дрожжегенерации, брожения и дистилляции, часть загрязняющих веществ вносится с сырьем, греющим паром, технологической водой и вспомогательными материалами. Именно наличие в целевых продуктах определенных примесей, а также их концентрация и взаимное сочетание, зависящие от вида сырья и используемых технологий, формируют уникальные вкус и аромат целевых продуктов (влияние некоторых примесей этилового спирта на органолептические показатели ректификата и дистиллята из зерновой бражки представлено в таблице 1).

В настоящее время методы оценки качества выдержанных и невыдержанных дистиллятов и дистиллированных алкогольных напитков интенсивно развиваются. Наиболее перспективными направлениями являются комбинирование хроматографических методик с хромато-масс-спектрометрией, а также другими способами физико-химического анализа и новыми разработками в области подготовки проб и детектирования [3–13].

Дистилляция представляет собой сложный физико-химический процесс выделения этанола из ферментированного сырья и его концентрирование с направленным регулированием содержания летучих примесных соединений, формирующим вкус и аромат целевого продукта. Дистилляция может быть осуществлена непрерывным и периодическим способами [1, 2].

Таблица 1.

Table 1.

Влияние примесных соединений на вкус и аромат этанола

Effect of impurity compounds on ethanol flavor and aroma

Группа Group	Летучие примеси Volatile impurities	Формула Formula	Влияние на органолептический показатели Effect on organoleptic parameters	
			Запах, аромат Odour, flavour	Вкус Flavour
Альдегиды Aldehydes	Уксусный Acetic	C ₂ H ₄ O	Резкий Sharp	Жгучий с оттенком жженого Bitter with a hint of burnt
	Пропионовый Propionic	C ₃ H ₆ O	Острый Pungent	Резкий, горький Sharp, bitter
	Маслянистый Butyric	C ₄ H ₈ O	Неприятный (прогорклое масло) Unpleasant (rancid oil)	Жгучий с горечью Bitter with bitterness
	Кротоновый Croton	C ₄ H ₆ O	Неприятный резкий Unpleasant pungent	Жгучий Bitter
	Изомаслянистый Isobutyric	C ₄ H ₈ O	Кисло-молочный с оттенком жженого Sour with a burnt tinge	Жгучий терпкий с горечью Bitter tart with bitterness
Эфиры Ethers	Валериановый Valerian	C ₅ H ₁₀ O	Резкий лекарственный Pungent medicinal	Горький со жгучестью Bitter with bitterness
	Фурфурол Furfural	C ₅ H ₄ O ₂	Свежий с нотами ржаного хлеба и миндаля Fresh with notes of rye bread and almonds	Приятный ржаного хлеба Pleasant rye bread
	Диэтиловый Diethyl	C ₄ H ₁₀ O	Резкий Pungent	Сладковатый, вяжущий с небольшой горечью Sweet, astringent with slight bitterness
	Муравьино-этиловый Ethyl formate	C ₃ H ₆ O ₂	Ромовый Rum	Мягкий со сладостью Soft with sweetness
	Уксусно-метиловый Acetic-methyl	C ₃ H ₆ O ₂	Слабо-фруктовый Faintly fruity	Резкий сладковатый с горчинкой Sharp sweetish with bitterness
	Уксусноэтиловый Acetic-ethyl	C ₄ H ₈ O ₂	Резкий эфирный с фруктовым оттенком (груша) Sharp ethereal with fruity tones (pear)	Винно-фруктовый, сладкий Wine-fruity, sweet
	Этиллактат Ethyl lactate	C ₅ H ₁₀ O ₃	Приятный с тонами красного вина Pleasant with tones of red wine	Гармоничный виноградно-карамельный Harmonious grape and caramel
	Масляно-этиловый Ethyl butyrate	C ₅ H ₁₂ O ₂	Фруктовый Fruity	Жгучий сладкий Bitter sweet
	Валериано-этиловый Valerian-ethyl	C ₇ H ₁₄ O ₂	Цветочно-валериановый Floral-valerian	Резкий вяжущий Sharp astringent
	Этилкапроат Ethylcaproate	C ₈ H ₁₆ O ₂	Приятный фруктовый (яблоко) Pleasant fruity (apple)	Сладкий с ананасовыми тонами Sweet with pineapple tones
Спирты Alcohols	Этилкаприлат Ethylcaprylate	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	Гармоничный цветочно-фруктовый Harmonious floral-fruity	Сладкий с тонами тропических цветов и фруктов Sweet with tropical floral and fruit tones
	Метиловый Methyl	C ₁ H ₄ O	Не влияет No influence	Не влияет No effect
	Пропиловый Propyl	C ₃ H ₈ O	Резкий терпкий Pungent tart	Резкий жгучий Sharp burning
	Изопропиловый Isopropyl	C ₃ H ₈ O	Не влияет Does not affect	Не влияет No effect
	Бутиловый Butyl	C ₄ H ₁₀ O	Характерный сивушный Characteristic synguru	Горьковато-жгучий Bitter-bitter
	Изобутиловый Isobutyl	C ₄ H ₁₀ O	Резкий сивушный с травяными нотами Pungent synguru with herbal notes	Горьковато-терпкий с оттенком сухой травы Bitter-tart with a hint of dry grass.
	Амиловый Amyl	C ₅ H ₁₂ O	Сивушный, плодово-цветочный Synguru, fruity and floral	Горький, вяжущий Bitter, astringent
	Изоамиловый Isoamyl	C ₅ H ₁₂ O	Сивушный Synguru	Жгучий с оттенком корицы Bitter with a hint of cinnamon
Органические кислоты Organic acids	Гексиловый Hexyl	C ₆ H ₁₄ O	Неприятный (прогорклое масло) Unpleasant (rancid oil)	Неприятный с тонами прогорклого масла Unpleasant with tones of rancid oil
	Уксусная Acetic	C ₂ H ₄ O ₂	Резкий фруктовый Fruity pungent	Острый, кислый Sharp, sour
	Пропионовая Propionic	C ₃ H ₆ O ₂	Неприятный (испорченное масло) Unpleasant (spoil oil)	Горький, жгучий Bitter, burning
	Масляная Butyric	C ₄ H ₈ O ₂	Неприятный (пот) Unpleasant (sweat)	То же Same
	Изомасляная Isobutyric	C ₄ H ₈ O ₂	Неприятный (прогорклое масло) Unpleasant (rancid oil)	«←» -
	Валериановая Valerian	C ₅ H ₁₀ O ₂	Резкий маслянисто-цветочный с прогорклым тоном Pungent, oily and floral with a rancid tone.	Неприятный, горький Unpleasant, bitter

Кетоны Ketones	Диацетил Diacetyl Ацетон Acetoin Метилэтилкетон Methyl ethyl ketone	$C_4H_8O_2$ $C_4H_8O_2$ C_4H_8O	Резкий, острый Pungent, sharp Маслянисто-сливочный Oily and creamy Резкий (ацетон) Sharp (acetone)	Неприятный исторченного масла Unpleasant of spoilt oil Жгучий Bitter Неприятный резкий Unpleasant pungent Вяжущий терпкий Tangy tart То же Same
Азотистые соединения Nitrogenous compounds	Метиламин Methylamine Этиламин Ethylamine Триметиламин Trimethylamine	CH_3NH_2 $C_2H_5NH_2$ (CH_3) ₃ N	Неприятный (гнилой миндаль) Unpleasant (rotten almonds) Неприятный гнилостный Unpleasant rotten Неприятный (рыбий жир и воровань) Unpleasant (fish oil and blubber)	Неприятный, жгучий Unpleasant, burning То же Same
Пиридиновые основания Pyridine bases	Пиридин Pyridine 2-пиколин 2-picoline Хинолин Quinoline	C_5H_5N C_6H_7N C_9H_7N	Неприятный резкий Unpleasant pungent То же Same «←»	Жгучий, острый Stinging, pungent То же Same «←»
Сернистые соединения Sulphur compounds	Метилмеркаптан Methylmercaptan Этилмеркаптан Ethyl mercaptan Пропилмеркаптан Propylmercaptan Амилмеркаптан Amylmercaptan Меркаптоэтанол Mercaptoethanol	CH_3SH C_2H_5SH C_3H_7SH C_5H_9SH C_2H_5OSH	Неприятный гнилостный Unpleasant putrid То же Same «←» «←» Резкий, острый Sharp, pungent.	Резкий, горький Sharp, bitter То же Same «←» «←» Горький, длительное послевкусие Bitter, long aftertaste.
Ароматические соединения Aromatic compounds	Бензальдегид Benzaldehyde Бензиловый спирт Benzyl alcohol Фенилэтиловый спирт Phenylethyl alcohol	C_7H_6O C_7H_8O $C_8H_{10}O$	Приятный (горький миндаль) Pleasant (bitter almonds) Слабый, приятный (жасмин и гвоздика) Mild, pleasant (jasmine and clove) Медово-цветочный (роза) Honey-flavoured (rose)	Приятный миндально-сладкий со жгучестью Pleasant almond-sweet with a bitterness. Резкий, жгучий Sharp, stinging Сладкий жгучий с оттенком лепестков розы Sweet burning with a hint of rose petals

Первый способ отличается большей себестоимостью целевого продукта и его относительно низким выходом, хотя позволяет получать продукт с хорошими органолептическими свойствами, определяемыми квалификацией обслуживающего персонала, качеством исходного сырья и вспомогательных материалов; второй способ даёт возможность с меньшими затратами получать дистиллят стабильного химического состава, но его органолептические качества при этом могут проигрывать за счёт обеднения примесными соединениями, формирующих букет напитка (кратковременное воздействие высоких температур на перегоняемые смеси не позволяет в полной мере проходить процессам новообразования летучих веществ, имеющим место в дистилляторах периодического действия).

В настоящее время наиболее распространены способы получения дистиллята дробной периодической перегонкой сброженного зернового сырья в кубовых аппаратах с отделением головной, средней и хвостовой фракций и непрерывной ректификацией бражки в одноколлонном аппарате с выведением ряда побочных продуктов [1,2, 13–15].

Традиционный кубовый аппарат (аламбик) обычно включает перегонный куб; дефлегматор воздушного охлаждения лукообразной либо конической формы и конденсатор-змеевик (современные конструкции иногда оснащаются небольшой ректификационной колонной, дефлегматор и конденсатор могут заменяться более эффективными кожухотрубными теплообменниками) [1, 2]. Форма аппарата, его объем и другие параметры оказывают влияние на вкус и аромат целевого продукта, поскольку соотношение поверхностей испарения бражки и дефлегмации спиртовых паров (наряду с другими факторами) определяют степень перехода летучих компонентов в дистиллят, однако, в научной литературе нет убедительных данных на этот счет. Эмпирически найдено, что высокие и узкие аламбики сообщают продукту более лёгкий и утонченный вкус, чем маленькие и широкие, кубы с коническими дефлегматорами позволяют производить тяжелый маслянистый продукт с интенсивным запахом, а дистиллят с легким ароматом вырабатывается на перегонных кубах с луковичными дефлегматорами.

Периодическая перегонка бражки может быть реализована и в массообменных аппаратах колонного типа с последовательным фракционированием примесных соединений. В отличие от производства ректифицированного этанола режимы и приемы дистилляции тщательно скрываются от конкурентов, поскольку считается, что на этой стадии во многом формируется характер будущего напитка. Недостатки периодических способов – высокая себестоимость получаемой продукции и её низкий выход.

Для непрерывной дистилляции обычно используются установки, основными элементами которых являются вертикальные полные ректификационные колонны (с ситчатыми, клапанными либо колпачковыми контактными устройствами), оснащенные дефлегматорами, конденсаторами и холодильником [1,2, 13–16]. Применяемые для этой цели аппараты могут быть разделены на 2 группы: 1 тип – аппараты, в которых погон (флегма), поступающий из дефлегматора, освобождается от спирта (вываривается) совместно с бражкой в бражной колонне (аппараты этого типа могут быть одноколлонными и двухколлонными); 2 тип аппараты, в которых погон вываривается отдельно от бражки в сырцовой колонне (аппараты этого типа выполняются двухколлонными. Применение аппаратов непрерывной перегонки позволяет переработать на сравнительно небольших предприятиях значительные объемы бражки, упростить технологию, снизить требования к квалификации обслуживающего персонала. Также непрерывный способ дает возможность отбирать целевой продукт и примесные соединения из различных зон установки, следовательно, получать этанол с заданной концентрацией примесей.

Представляют интерес технологии, совмещающие периодический и непрерывный способы получения дистиллятов, например, в работе [1] описана схема дистилляционной установки, включающая узлы бражной колонны и кубового аппарата. Бражная колонна предназначена для получения спирта-сырца путем отгонки из бражки части воды и сухих веществ (крепость целевого продукта 55–60 % об.); второй аппарат, являясь разновидностью традиционного аламбика, служит для окончательной очистки продукта от головных и хвостовых примесных соединений (крепость дистиллята 65 % об.). Подобная схема получения дистиллята успешно применяется на ОАО «Брестский ликероводочный завод «Белалко» ОСП «Ивацевичский спиртзавод» (Республика Беларусь).

При получении виски также может использоваться сочетание непрерывной и периодической перегонки: на кубовых дистилляторах вырабатывается качественный ароматизатор для смешанных напитков на основе солодового суслу, а на непрерывно действующих аппаратах производится спиртовая основа из зернового сырья для купажей [1,2].

Как упоминалось выше, для получения дистиллятов из бражки достаточно одной или двух ректификационных колонн, удельный расход пара на перегонку обычно не превышает 18–25 кг/дал, следовательно, себестоимость непрерывного производства дистиллятов ниже, чем ректификатов, поэтому экономически и технологически целесообразно производить спиртовые дистилляты на существующих заводах, предназначенных для получения пищевого этанола.

Известен ряд решений данной проблемы. Например, в работах [14, 16] проанализированы некоторые технологические приемы, позволяющие реализовать эту концепцию на типовых косвенных установках непрерывного действия: корректировка режимов работы бражной (сырцово́й) колонны, выбор зоны отбора целевого продукта; оснащение БРУ дополнительным колонным аппаратом для укрепления и доочистки дистиллята; купажи́рование дистиллята с побочными фракциями брагоре́ктификации для получения заданного примесного состава целевого продукта, использование для производства дистиллята сивушной и ректификационной колонн.

Достаточно востребованными в промышленности оказались технологические решения [15, 17, 18], позволяющие производить зерновой дистиллят на типовых установках как в виде самостоятельного продукта, так и совместно с ректифицированным спиртом. По первому варианту процесс перегонки бражки осуществляется в бражной колонне, а укрепление полученного продукта и его дополнительная очистка от головных, хвостовых и промежуточных примесей проводится в модернизированной э́порационной колонне. Флегма из секций брагоподогревателя подаётся в зону питания колонны, промежуточные примеси отводятся из зоны их максимального накопления в отгонной части, а головные соединения – из конденсатора, зерновой дистиллят отбирается из жидкой фазы концентрационных тарелок э́порационного аппарата. По второму варианту выработка зернового дистиллята осуществляется непосредственно в бражной колонне, отбор продукта производится из секций брагоподогревателя в необходимом объеме, а оставшаяся часть дистиллята используется для производства ректифицированного спирта, при этом промежуточные фракции полностью утилизируются в работающей брагоре́ктификационной установке на производство ректификата. Подобные непрерывные способы, обеспечивающие получение продукта с заданным химическим составом для приготовления напитков по различным рецептурам, успешно внедрены сотрудниками ВГУИТ на ряде спиртовых заводов ближнего зарубежья (производственный цех № 8 ОАО «МИНСК КРИСТАЛЛ», СП «Богушевский спиртзавод» АО «Витебский ликеро-водочный завод», ОАО «Чистый исток 1872» (РБ), ТОО «TAU – PRODUCT», ТОО «Солодовый спиртзавод «ALFA ORGANIC» (РК)).

В условиях жесткой конкуренции на алкогольном рынке требования к органолептическим показателям дистиллятов и ректификатов из зернового сырья постоянно повышаются, поэтому сегодня очень востребованными оказываются результаты исследований, направленных на повышение качества продукции за счет применения альтернативных физико-химических способов

очистки многокомпонентных смесей, в том числе основанных на использовании окислительного потенциала озона.

В работе [19, 20] предложено оснащение ректификационной установки реактором для озоновой обработки водно-спиртовых смесей, что позволит удалять такие минорные примеси, как кротоновый альдегид, акролеин и диацетил. Кроме того, при воздействии озона происходит окисление части альдегидов (образующиеся при этом карбоновые кислоты являются хвостовыми соединениями и могут быть выделены с лютерной водой спиртовой колонны).

Представляет практический интерес способ очистки водно-этанольных растворов, включающий обработку озоном и фильтрацию через активный уголь. Озонирование водно-спиртовых растворов позволяет разложить такие вредные примеси, как фурфурол и метанол до углекислого газа и вывести их из системы. При реакции озона с этанолом образуются радикалы, которые соединяются с молекулами высших спиртов и альдегидов и выводятся фильтрацией активным углем. Недостатком вышеописанного метода является необходимость применения сорбционных способов очистки (дорогостоящие сорбенты, необходимость регенерации и т. д.)

Описанные технологии доступны и экологически безопасны, однако, в РФ они не получили широкого распространения, что объясняется недостаточной проработкой данного вопроса.

В заключении хочется отметить, что получение конкурентоспособной продукции на основе зерновых дистиллятов требует решения комплекса задач:

- внедрения современных технологий ферментации и дистилляции;
- применения современного эффективного оборудования и комплексной автоматической системы управления технологическими процессами;
- усиление оперативного технологического контроля на каждой стадии производства, поскольку органолептические свойства дистиллята во многом определяются качеством исходного сырья, воды, дрожжей, ферментов и других вспомогательных материалов; а также работой всех технологических подразделений.

Кроме того, необходим анализ соответствия существующей нормативно-правовой базы современным требованиям и разработка новых стандартов для оценки качества зерновых дистиллятов. Значительное увеличение количества определяемых соединений, понижение пределов их обнаружения и выявление корреляций между физико-химическими и органолептическими показателями готовой продукции должно способствовать обнаружению источников образования минорных конгенов на всех стадиях производства и выбору технологических приёмов для получения продукта с требуемыми свойствами.

Литература

- 1 Головачева Н.Е., Абрамова И.М., Морозова С.С., Галлямова Л.П. и др. Производство виски по ускоренной технологии // Пищевая промышленность. 2019. №. 4. С. 31-33.
- 2 Kockmann N. 200 years in innovation of continuous distillation // ChemBioEng Reviews. 2014. V. 1. №. 1. P. 40-49. doi: 10.1002/cben.201300003
- 3 Babych I., Boiko P., Bondar M., Kuts A. Aspects of ethanol manufacture. Different purpose – different technological and economic solutions // Danish Scientific Journal. 2022. № 60. P. 73–77.
- 4 Савчук С.А., Нужный В.П., Рожанец В.В. Химия и токсикология этилового спирта и напитков, изготовленных на его основе. Хроматографический анализ спиртных напитков. М.: Ленанд, 2017. 184 с.
- 5 Муратшин А.М., Галкин Е.Г., Нигматуллин А.Т. Определение происхождения этилового спирта методом хромато-масс-спектрометрии. URL: http://fromserge.narod.ru/metod_khromato-mass-spektrometrii.pdf
- 6 Никитина С.Ю., Шахов С.В., Пыльный Д.В., Рудаков О. Б. Аналитический контроль качества ректификованного этанола, водок и спиртовых дистиллятов // Пищевая промышленность. 2018. №. 6. С. 56-60.
- 7 Абрамова И.М., Медриш М.Э., Макаров С.Ю., Жирова В.В. Сравнительное исследование примесей в дистиллятах из зернового сырья и напитках на их основе // Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 4. С. 59–67.
- 8 Piggott J.R. Whisky, Whiskey and Bourbon: Composition and Analysis of Whisky // Encyclopedia of Food and Health. 2016. P. 514–518.
- 9 Шелехова Н.В., Шелехова Т.М., Скворцова Л.И., Полтавская Н.В. Определение летучих органических примесей в виски методом газовой хромато-масс-спектрометрии // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 787–796.
- 10 Шелехова Н.В., Абрамова И.М., Шелехова Т.М. и др. Расширение аналитических возможностей газовой хромато-масс-спектрометрии для исследования дистиллированных напитков // Пищевая промышленность. 2022. № 4. С. 63–66. doi: 10.52653/PPI.2022.4.4.011
- 11 Wiśniewska P., Śliwińska M., Dymerski T., Wardencki W. et al. The analysis of vodka: a review paper // Food Analytical Methods. 2015. V. 8. P. 2000-2010.
- 12 Yang K., Somogyi A., Thomas C., Zhang H. et al. Analysis of barrel-aged Kentucky bourbon whiskey by ultrahigh resolution mass spectrometry // Food Analytical Methods. 2020. V. 13. P. 2301-2311. URL: https://www.researchgate.net/publication/344137528_Analysis_of_Barrel-Aged_Kentucky_Bourbon_Whiskey_by_Ultrahigh_Resolution_Mass_Spectrometry
- 13 Алексеев В.В., Кириллов Е.А., Туршатов М.В., Соловьев А.О. Дистилляционные аппараты с элементами ректификационных колонн // Теоретические и практические аспекты развития спиртовой и ликероводочной промышленности. 2022. С. 24-30. doi: 10.18334/9785912924460.24-30
- 14 Кириллов Е.А., Кононенко В.В., Грунин Е.А., Соловьев А.О. Производство зернового дистиллята на брагоректификационных установках из крахмалсодержащего сырья // Пиво и напитки. 2016. № 3. С. 22–24.
- 15 Никитина С.Ю., Шахов С.В., Пыльный Д.В. Оптимизация процесса получения зернового дистиллята в системе брагоректификации // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. 2022. Т. 19. № 1. С. 60–66.
- 16 Пат. № 2662652, RU, C12G 3/12, B01D 3/00. Способ получения зернового дистиллята и ректификованного спирта из крахмалосодержащего сырья и установка для его осуществления / Поляков В.А., Кириллов Е.А., Леденев В.П. и др. № 2016132436; Заявл. 08.08.2016; Оpubл. 26.07.2018.
- 17 Пат. № 2666912, RU, C12P 7/06, B01D 3/14. Способ совместного получения ректификованного этилового спирта и зернового дистиллята / Никитина С.Ю. № 2017145606; Заявл. 25.12.2017; Оpubл. 13.09.2018.
- 18 Никитина С.Ю., Шахов С.В., Гордиенко А.С. Опыт внедрения новой технологии совместного получения ректификованного этилового спирта и спиртового дистиллята из сброженного зернового сырья // Пиво и напитки. 2020. № 4. С. 10–15. doi: 10.24411/2072-9650-2020-10037
- 19 Onuki S., Koziel J.A., Jenks W.S., Cai L. et al. Ethanol purification with ozonation, activated carbon adsorption, and gas stripping // Separation and Purification Technology. 2015. V. 151. P. 165-171. doi: 10.1016/j.seppur.2015.07.026
- 20 Cai L., Rice S., Koziel J.A., Jenks W.S. et al. Further purification of food-grade alcohol to make a congener-free product // Journal of the Institute of Brewing. 2016. V. 122. №. 1. P. 84-92. doi: 10.1002/jib.295

References

- 1 Golovacheva N.E., Abramova I.M., Morozova S.S., Gallyamova L.P. et al. Whiskey production using accelerated technology. Food Industry. 2019. no. 4. pp. 31-33. (in Russian).
- 2 Kockmann N. 200 years in innovation of continuous distillation. ChemBioEng Reviews. 2014. vol. 1. no. 1. pp. 40-49. doi: 10.1002/cben.201300003
- 3 Babych I., Boiko P., Bondar M., Kuts A. Aspects of ethanol manufacture. Different purpose – different technological and economic solutions. Danish Scientific Journal. 2022. no. 60. pp. 73–77.
- 4 Savchuk S.A., Nuzhny V.P., Rozhanets V.V. Chemistry and toxicology of ethyl alcohol and drinks made on its basis. Chromatographic analysis of alcoholic beverages. M., Lenand, 2017. 184 p. (in Russian).
- 5 Muratshin A.M., Galkin E.G., Nigmatullin A.T. Determination of the origin of ethyl alcohol by chromatography-mass spectrometry. Available at: http://fromserge.narod.ru/metod_khromato-mass-spektrometrii.pdf (in Russian).
- 6 Nikitina S.Yu., Shakhov S.V., Pylly D.V., Rudakov O.B. Analytical quality control of rectified ethanol, vodka and alcohol distillates. Food Industry. 2018. no. 6. pp. 56-60. (in Russian).
- 7 Abramova I.M., Medrish M.E., Makarov S.Yu., Zhironova V.V. Comparative study of impurities in distillates from grain raw materials and drinks based on them. Storage and processing of agricultural raw materials. 2018. no. 4. pp. 59–67. (in Russian).
- 8 Piggott J.R. Whisky, Whiskey and Bourbon: Composition and Analysis of Whisky. Encyclopedia of Food and Health. 2016. pp. 514–518.

- 9 Shelekhova N.V., Shelekhova T.M., Skvortsova L.I., Poltavskaya N.V. Determination of volatile organic impurities in whiskey using gas chromatography-mass spectrometry. Equipment and technology of food production. 2022. vol. 52. no. 4. pp. 787–796. (in Russian).
- 10 Shelekhova N.V., Abramova I.M., Shelekhova T.M. et al. Expanding the analytical capabilities of gas chromatography-mass spectrometry for the study of distilled beverages. Food Industry. 2022. no. 4. pp. 63–66. doi: 10.52653/PPI.2022.4.4.011 (in Russian).
- 11 Wiśniewska P., Śliwińska M., Dymerski T., Wardencki W. et al. The analysis of vodka: a review paper. Food Analytical Methods. 2015. vol. 8. pp. 2000–2010.
- 12 Yang K., Somogyi A., Thomas C., Zhang H. et al. Analysis of barrel-aged Kentucky bourbon whiskey by ultrahigh resolution mass spectrometry. Food Analytical Methods. 2020. vol. 13. pp. 2301–2311. Available at: https://www.researchgate.net/publication/344137528_Analysis_of_Barrel-Aged_Kentucky_Bourbon_Whiskey_by_Ultrahigh_Resolution_Mass_Spectrometry
- 13 Alekseev V.V., Kirillov E.A., Turshatov M.V., Soloviev A.O. Distillation apparatus with elements of distillation columns. Theoretical and practical aspects of the development of the alcohol and liquor industry. 2022. pp. 24–30. doi: 10.18334/9785912924460.24–30 (in Russian).
- 14 Kirillov E.A., Kononenko V.V., Grunin E.A., Soloviev A.O. Production of grain distillate in distillation plants from starch-containing raw materials. Beer and drinks. 2016. no. 3. pp. 22–24. (in Russian).
- 15 Nikitina S.Yu., Shakhov S.V., Pylly D.V. Optimization of the process of obtaining grain distillate in the distillation system. FES: Finance. Economy. Strategy. 2022. vol. 19. no. 1. pp. 60–66. (in Russian).
- 16 Polyakov V.A., Kirillov E.A., Ledenev V.P. et al. Method for producing grain distillate and rectified alcohol from starch-containing raw materials and installation for its implementation. Patent RF, no. 2662652, 2018.
- 17 Nikitina S.Yu. Method for joint production of rectified ethyl alcohol and grain distillate. Patent RF, no. 2666912, 2018.
- 18 Nikitina S.Yu., Shakhov S.V., Gordienko A.S. Experience in introducing a new technology for the joint production of rectified ethyl alcohol and alcohol distillate from fermented grain raw materials. Beer and drinks. 2020. no. 4. pp. 10–15. doi: 10.24411/2072–9650–2020–10037 (in Russian).
- 19 Onuki S., Koziel J.A., Jenks W.S., Cai L. et al. Ethanol purification with ozonation, activated carbon adsorption, and gas stripping. Separation and Purification Technology. 2015. vol. 151. pp. 165–171. doi: 10.1016/j.seppur.2015.07.026
- 20 Cai L., Rice S., Koziel J.A., Jenks W.S. et al. Further purification of food-grade alcohol to make a congener-free product. Journal of the Institute of Brewing. 2016. vol. 122. no. 1. pp. 84–92. doi: 10.1002/jib.295

Сведения об авторах

Светлана Ю. Никитина, д.т.н., директор, ООО «НПЦ «Этанол», ул. Чапаева, 153Б/143, г. Воронеж, Россия, sunik@mail.ru
 <https://orcid.org/0009-0009-3751-6477>

Александр С. Гордиенко генеральный директор, ОАО «Витебский-ликероводочный завод», «Придвинье», ул. Революционная, 34, г. Витебск, 510001, Республика Беларусь, lvz@vitebsk.by
 <https://orcid.org/>

Наталья В. Зуева к.т.н. доцент, кафедра технологии бро-дильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 293026, Россия, nataspirit30@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-2840-398X>

Алексей Н. Яковлев к.т.н. доцент, кафедра технологии бро-дильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 293026, Россия, vip.alex2702@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-3246-6628>

Вклад авторов

Светлана Ю. Никитина обзор литературных источников по исследуемой проблеме, написала рукопись

Александр С. Гордиенко обзор литературных источников по исследуемой проблеме

Наталья В. Зуева консультация в ходе исследования

Алексей Н. Яковлев корректировал рукопись до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Svetlana Yu. Nikitina Dr. Sci. (Engin.), director, LLC "STC "Ethanol", Chapaeva st., 153/143 Voronezh, 293021, Russia, sunik@mail.ru
 <https://orcid.org/0009-0009-3751-6477>

Alexander S. Gordienko CEO, OJSC "Vitebsk Distillery", "Pridvinye", st. Revolutionary, 34, Vitebsk, 510001, Republic of Belarus, lvz@vitebsk.by
 <https://orcid.org/>

Natalia V. Zueva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 293026, Russia, nataspirit30@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-2840-398X>

Alexey N. Yakovlev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 293026, Russia, vip.alex2702@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-3246-6628>

Contribution

Svetlana Yu. Nikitina review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Alexander S. Gordienko review of the literature on an investigated problem

Natalia V. Zueva consultation during the study

Alexey N. Yakovlev correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 26/01/2024	После редакции 12/02/2024	Принята в печать 28/02/2024
Received 26/01/2024	Accepted in revised 12/02/2024	Accepted 28/02/2024

Технология производства бисквитного полуфабриката для веганов

Анна Е. Ковалева	¹	a.e.kovaleva@ya.ru	 0000-0001-7807-1755
Эльвира А. Пьяникова	¹	alia1969@ya.ru	 0000-0003-4424-7323
Анастасия С. Рязанцева	¹	an.ryazantseva2016@ya.ru	 0000-0000-0000-0000
Егор Т. Грешилов	¹	egorgreshilov99@gmail.com	 0000-0000-0000-0000
Оксана В. Евдокимова	²	evdokimova_oxana@bk.ru	 0000-0002-0393-2327

¹ Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия

² Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, ул. Генерала Родина, 69, г. Орел, 302019, Россия

Аннотация. Традиционно мучные кондитерские изделия являются одной из составляющих в рационе питания населения. За последнее время доля мучных изделий в структуре питания россиян существенно возросла и продолжает увеличиваться. Для разработки технологии и рецептуры бисквитного полуфабриката для веганов была произведена замены муки пшеничной высшего сорта на муку миндальную и овсяную, сахара на сахарозаменитель «Эритрит» и яиц на аквафабу. Были подготовлены 3 смеси с разным соотношением овсяной и миндальной муки (9:11, 15:7, 13:8 соответственно). В соответствии с изменением рецептуры бисквитных полуфабрикатов для веганов были скорректированы технологические операции производства. Использование в рецептуре порошка аквафабы из гороха привело к введению дополнительной технологической операции по приготовлению водного раствора аквафабы и взбивание его сначала с солью (для стабилизации пены и получения мягких пиков), а затем с сахарозаменителем «Эритрит». Такой процесс взбивания оказывает влияние на подъемную силу бисквитного полуфабриката и исключает возможность его оседания. Нетрадиционные ингредиенты для приготовления бисквитного полуфабриката также оказали влияние на операцию выпекания, которое осуществлялось в два этапа. Экспериментально было определено, что на первом этапе выпекание происходит при температуре 150-160°C в течение 30 минут, на втором этапе температура увеличивалась до 180°C и выпекание протекало в течение 10 минут. После выпекания для предотвращения оседания и скопления влаги на дне бисквитного полуфабриката остывание на первом этапе проводили в течение 1 часа в выключенном духовом шкафу, а затем в завернутом в пленку виде в течение 6-8 часов в условиях цеха для равномерного распределения влаги по всей массе.

Ключевые слова: бисквитный полуфабрикат, технология производства, аквафаба, миндальная мука, овсяная мука, сахарозаменитель «Эритрит».

Technology of production of semi-finished biscuit for vegans

Anna E. Kovaleva	¹	a.e.kovaleva@ya.ru	 0000-0001-7807-1755
Elvira A. Pyanikova	¹	alia1969@ya.ru	 0000-0003-4424-7323
Anastasia S. Ryazantseva	¹	an.ryazantseva2016@ya.ru	 0000-0000-0000-0000
Egor T. Greshilov	¹	egorgreshilov99@gmail.com	 0000-0000-0000-0000
Oksana V. Evdokimova	²	evdokimova_oxana@bk.ru	 0000-0002-0393-2327

¹ South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040, Russia

² Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, 69 Generala Rodina str., Orel, 302019, Russia

Abstract. Traditionally, flour confectionery products are one of the components in the diet of the population. Recently, the share of flour products in the structure of nutrition of Russians has increased significantly and continues to increase. In order to develop the technology and recipe of a semi-finished biscuit for vegans, the wheat flour of the highest grade was replaced with almond and oat flour, sugar with the Erythritol sweetener and eggs with aquafaba. 3 mixtures with different ratios of oatmeal and almond flour were prepared (9:11, 15:7, 13:8 respectively). In accordance with the change in the recipe of biscuit semi-finished products for vegans, the technological operations of production were adjusted. The use of aquafaba powder from peas in the formulation led to the introduction of an additional technological operation for the preparation of an aqueous solution of aquafaba and whipping it first with salt (to stabilize the foam and obtain soft peaks), and then with the sweetener "Erythritol". Such a whipping process affects the lifting force of the biscuit semi-finished product and eliminates the possibility of its settling. Non-traditional ingredients for the preparation of semi-finished biscuit also influenced the baking operation, which was carried out in two stages. It was experimentally determined that at the first stage baking takes place at a temperature of 150-160°C for 30 minutes, at the second stage the temperature increased to 180°C and baking proceeded for 10 minutes. After baking, in order to prevent settling and accumulation of moisture at the bottom of the biscuit semi-finished product, cooling at the first stage was carried out for 1 hour in the oven turned off, and then wrapped in a film for 6-8 hours in a workshop for uniform distribution of moisture throughout the mass.

Keywords: biscuit semi-finished product, production technology, aquafaba, almond flour, oat flour, sweetener "Erythritol".

Введение

В последние годы среди населения РФ наметилась тенденция следования здоровому образу жизни, в том числе соблюдения норм

здорового питания. При составлении рационов или меню необходимо контролировать количество поступающих с пищей белка, жиров и углеводов. Одним из вариантов корректировки рациона

Для цитирования

Ковалева А.Е., Пьяникова Э.А., Рязанцева А.С., Грешилов Е.Т., Евдокимова О.В. Технология производства бисквитного полуфабриката для веганов // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 97–102. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-97-102

For citation

Kovaleva A.E., Pyanikova E.A., Ryazantseva A.S., Greshilov E.T., Evdokimova O.V. Technology of production of semi-finished biscuit for vegans. Vestnik VGUI [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 97–102. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-97-102

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

питания является введение продуктов со сбалансированным сочетанием пищевой ценности [1].

За последние годы доля мучных изделий в структуре питания россиян существенно выросла и продолжает увеличиваться. Кондитерские изделия постепенно превратились из высококалорийных десертов в важные и излюбленные компоненты пищевого рациона людей. Мучные кондитерские полуфабрикаты, которые являются вкусными и обладают высокой питательной ценностью, всегда пользуются популярностью у людей всех возрастов [2] и выпекаются по рецептурам, в состав которых входят мука из мягких сортов пшеницы, сахар и яйца [3, 4]. Большое количество сахара и яиц в рецептуре бисквита делает этот продукт противопоказанным людям, страдающим аллергическими реакциями, диабетом и рядом других заболеваний.

В последние годы во всем мире приобрел популярность веганский образ жизни, который повышает спрос на веганские изделия, в том числе и кондитерские [5]. Снижение спроса на продукты животного происхождения из-за веганско-вегетарианских диетических предпочтений и возникновение различного рода заболеваний в результате использования высококалорийных продуктов приводит к возникновению необходимости искать пути решения данной проблемы. В связи с этим проводятся исследования, направленные на разработку продуктов, не содержащих ингредиенты животного происхождения, таких как яйца и молоко, или в которых традиционное сырье заменяется на более полезное растительное (например, пшеничная мука, на другие виды муки, сахар – на сахарозаменитель и т. д.) [6, 7].

Тем не менее, различные ограничения на продукты животного происхождения для веганов привели к разработке различных пищевых продуктов на немолочной основе, без яиц, без жира (пищевая матрица из зерновых, бобовых, овса, овощей, фруктов), которые приобретают все большее значение [8].

Цель работы – разработка рецептуры и технологии производства бисквитного полуфабриката для веганов.

Материалы и методы

На основе химического анализа сырьевого состава рецептур бисквитного полуфабриката для веганов, были заменены ингредиенты в рецептуре классического бисквита (контрольного образца) на альтернативные. Для исследования возможности такой замены были разработаны и выпечены несколько образцов бисквитного полуфабриката для веганов. При этом мука пшеничная заменялась на смесь из овсяной и миндальной муки и разрыхлителя, сахар – на сахарозаменитель «Эритрит», а яйца – на аквафабу.

Для стабилизации взбитой аквафабы в рецептуру внесено небольшое количество соли.

Миндальная мука богата витаминами E, группы B, A, PP, а также такими минеральными веществами, как калий, кальций, магний, цинк, марганец, железо, фосфор и натрий. Также в ней содержится Омега-3 кислоты, без которых нормальная работа организма невозможна, около 20 % белка и 55 % жира. Это в свою очередь означает, что изделия и полуфабрикаты, приготовленные на её основе будут обладать приятной текстурой и вкусовыми свойствами [9, 10].

Овсяная мука содержит легко усваиваемые углеводы, богата витаминами группы B, A, E, PP, микроэлементами, в том числе кремнием, нормализующим обмен веществ, все незаменимые для человеческого организма аминокислоты, в том числе и такие, как тирозин и холин, кальциевые и фосфорные минеральные соли, ферменты, эфирное масло [11].

Из-за высокой калорийности сахара его заменяют на сахарозаменители и подсластители. В процессе выпекания редуцирующие сахара, которых в бисквитном тесте содержится 10–20 %, соединяются с аминокислотами и способствуют образованию цвета у мучного кондитерского изделия [12].

При изменении рецептуры бисквитных полуфабрикатов с целью улучшения их пищевой ценности нельзя пренебрегать функциональными свойствами муки, чтобы обеспечить необходимые технологические режимы в процессе производства для обеспечения сохранения органолептических свойств готового изделия [13–20].

Недостатком классической рецептуры бисквитного полуфабриката является невысокая пищевая ценность, высокая калорийность полуфабриката и наличие в рецептуре ингредиентов, не приемлемых для веганов.

Рецептуры контрольного и разработанных образцов представлены в таблице 1.

Контрольный образец был выпечен по классической рецептуре и технологии (Сборник рецептур мучных кондитерских и булочных изделий для предприятий общественного питания: Справочник, 2017).

Рецептуры образцов бисквитных полуфабрикатов № 1– 3 разработаны с целью получения веганского продукта: образец № 1 – яйца заменены на аквафабу, сахар – на сахарозаменитель «Эритрит», мука пшеничная на смесь овсяной и миндальной муки в соотношении 40:65; образец № 2 – яйца заменены на аквафабу, сахар – на сахарозаменитель «Эритрит», мука пшеничная – на смесь овсяной и миндальной в соотношении 75:35; образец № 3 – яйца заменены на аквафабу, сахар – на сахарозаменитель «Эритрит», мука пшеничная – на смесь овсяной и миндальной муки в соотношении 65:40.

Таблица 1.

Рецептуры классического бисквита и разработанных бисквитных полуфабрикатов для веганов

Table 1.

Recipes of classic sponge cake and developed biscuit semi-finished products for vegans

Сырье, г Raw materials, g	Образец Sample			
	Контроль Control	1	2	3
Мука пшеничная Wheat flour	160	–	–	–
Сахар Sugar	160	–	–	–
Яйцо куриное Chicken egg	280	–	–	–
Аквафаба Aquafaba	–	100	100	100
Сахарозаменитель «Эритрит» Sweetener "Erythritol"	–	40	30	40
Мука овсяная Oat flour	–	40	75	65
Мука миндальная Almond flour	–	65	35	40
Соль пищевая Food salt	–	0,5	0,5	0,5
Разрыхлитель Baking powder	–	2	2	2

Результаты и обсуждение

Все пищевое сырье, поступающее на предприятие, должно отвечать требованиям действующих стандартов, технических условий, гигиенических требований, иметь гигиенический

сертификат (или гигиеническое заключение), сертификаты соответствия или удостоверения о качестве, которые гарантируют его качество и безопасность. На рисунке 1 представлена технологическая схема приготовления бисквитного полуфабриката для веганов.

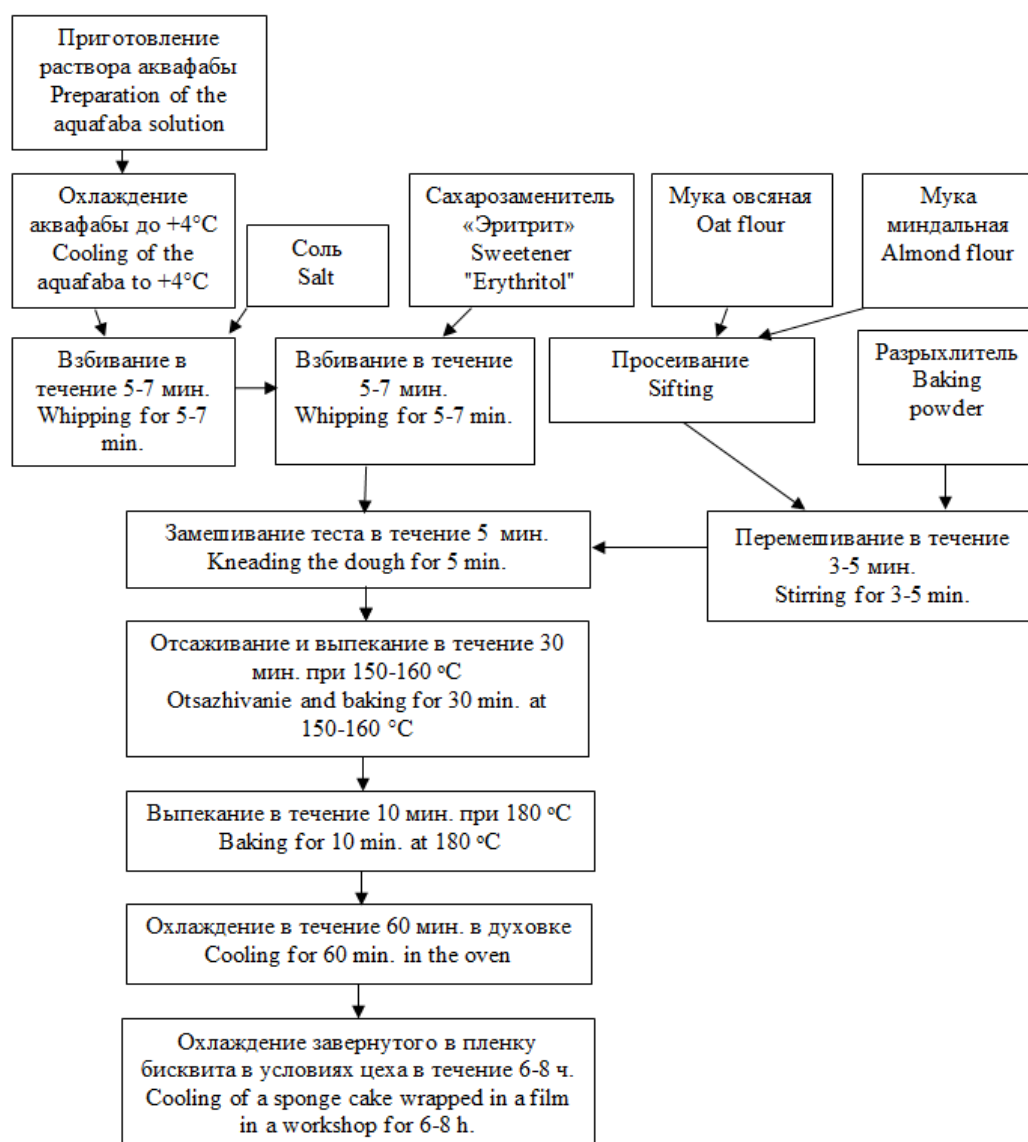


Рисунок 1. Схема производства бисквитного полуфабриката для веганов

Figure 1. The scheme of production of semi-finished biscuit for vegans

Приготовление бисквитного полуфабриката начинается с подготовки овсяной и миндальной муки просеиванием через сито с ячейками размером 1,6 мм. Просеивание осуществляется с целью очистки муки от посторонних примесей, а также для ее разрыхления и насыщения кислородом. К просеянной муке добавляют разрыхлитель и перемешивают в течение 3–5 минут. Готовят раствор из порошка аквафабы из гороха и воды питьевой. Для этого порошок аквафабы растворяют в кипяченной воде при температуре 40–60 °С, перемешивают и дают настояться 2–3 минуты до полного растворения порошка и образования мутного вязкого раствора. Полученный раствор охлаждают до +4 °С и взбивают для получения густой массы из аквафабы. Затем для предотвращения быстрого оседания массы и ее стабилизации добавляют в раствор аквафабы соль пищевую и полученную массу взбивают в течение 5–7 минут при частоте вращения месильного органа 300 об/мин. до появления мягких пиков. На этом этапе взбитая масса белеет, выглядит более устойчиво, но все же остается очень мягкой, «влажной», она еще не держит твердо форму. Затем в массу добавляют сахарозаменитель «Эритрит» и взбивают до устойчивых пиков в течение 5 минут при частоте вращения месильного органа 300 об/мин. К взбитой массе добавляют сухую смесь из муки и разрыхлителя и тщательно перемешивают в течение 5 минут при частоте вращения месильного органа 100 об/мин. Тесто отсаживают по формам и выпекают в два этапа. На первом этапе выпекание осуществляют при температуре 150–160 °С в течение 30 минут. Во время выпекания происходит расширение газов, компоненты сахарозаменителя «Эритрит» входят во взаимодействие между собой, соединяются белковые частицы и происходит увеличение их размеров. Это влияет на подъемную силу бисквита, исключается возможность его оседания, и образования надрывов на поверхности.

На втором этапе выпекание осуществляется при температуре 180 °С в течение 10 минут для подрумянивания бисквитного полуфабриката. Во время выпекания бисквита происходят сложные физические и биохимические реакции, такие как испарение воды, денатурация белков, частичная клейстеризация крахмала и реакция Майяра [12]. Выпеченный бисквитный полуфабрикат охлаждают в духовке в течение 1 часа для предотвращения скопления влаги на дне бисквитного полуфабриката. Заворачивают в пленку и продолжают охлаждение в условиях цеха в течение 6–8 часов для равномерного распределения влаги по всей массе бисквитного полуфабриката.

Заключение

В ходе разработки технологического процесса производства бисквитного полуфабриката для веганов вместо классических ингредиентов, было использовано сырье, приемлемое для веганов, людей, ведущих здоровый образ жизни: овсяная и миндальная мука, сахарозаменитель «Эритрит», аквафаба.

В ходе проведенной замены традиционных рецептурных ингредиентов на альтернативные были установлены следующие технологические параметры:

- появилась дополнительная технологическая операция по приготовлению аквафабы из порошка аквафабы из гороха и воды питьевой;
- взбивание раствора аквафабы происходит сначала с солью, которая позволяет сохранить объем взбитой пены, а затем с сахарозаменителем «Эритрит»;
- выпекание происходит в два этапа с увеличением температуры: первый этап – при температуре 150–160 °С в течение 30 мин., второй этап – при температуре 180 °С в течение 10 минут;
- остывание также происходит в два этапа: в течение 1 часа в духовом шкафу для предотвращения оседания бисквита, затем в течение 6–8 часов в условиях цеха.

Литература

- 1 Щетинин М.П., Ходырева З.Р. Научно-гигиенические подходы к разработке замороженного десерта // Вопросы питания. 2018. № 3. С. 72-78.
- 2 Ковалева А.Е., Пьяникова Э.А., Тараторина О.С., Ткачева Е.Д. Технологические параметры производства и рецептура низкокалорийного полуфабриката «Брауни» // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 1. С. 105–111. doi: 10.20914/2310-1202-2022-1-105-111
- 3 Kaur R., Kaur M. Microstructural, physicochemical, antioxidant, textural and quality characteristics of wheat muffins as influenced by partial replacement with ground flaxseed // LWT. 2018. V. 91. P. 278-285. doi: 10.1016/j.lwt.2018.01.059
- 4 Джахангирова Г.З., Махмудова Д.Х., Усмонхужаева Ф.Х.К. Применения нетрадиционного сырья в технологии мучных кондитерских изделий // Universum: технические науки. 2019. №. 7 (64). С. 28-31. URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/7626>
- 5 Giraje N., Hedao R. Serving vegan palates nutritiously: fortification of vegan cake with garden cress seeds and rose petal preserve as functional ingredients // Indian J. Publ. Health. 2019. V. 10. № 7. P. 1582-1587. doi: 10.5958/0976-5506.2019.01822.9
- 6 Movahhed M.K., Mohebbi M., Koocheki A. et. al. Application of TOPSIS to evaluate the effects of different conditions of sonication on eggless cake properties, structure, and mass transfer // J. Food Sci. 2020. V. 85. № 5. P. 1479-1488. 10.1111/1750-3841.15117

- 7 Пьяникова Э.А., Ковалева А.Е., Овчинникова Е.В., Тараторина О.С. и др. Обоснование использования ингредиентов для получения низкокалорийного шоколадного бисквита «Брауни» // Достижения науки и техники. 2022. Т.36. №8. С. 58-64.
- 8 Arepally D., Reddy R.S., Coorey R., Goswami T.K. Modelling inactivation kinetics of free and encapsulated probiotic cells in millet biscuit under different baking conditions // Food Research International. 2023. V. 174. № 1. P. 113573. doi: 10.1016/j.foodres.2023.113573
- 9 Щетинин М.П., Ходырева З.Р. Формирование рецептурного состава бисквитного безглютенового полуфабриката // Проектирование и моделирование продуктов питания нового поколения. 2019. №1. С.106-115.
- 10 Brown R.C., Ware L., Gray A.R., Tey S.L. et al. Comparing the Effects of Consuming Almonds or Biscuits on Body Weight in Habitual Snackers: A 1-Year Randomized Controlled Trial // The American J. of Clinical Nutrition. 2023. V. 118 (1). P. 228-240. doi: 10.1016/j.ajcnut.2023.05.015
- 11 Самсонова Е.Д., Красноштанова А.А. Повышение пищевой ценности и полезных свойств продуктов с использованием овсяной муки // Успехи в химии и химической технологии. 2020. Т. 34. №. 11 (234). С. 16-18.
- 12 Arepally D., Reddy R.S., Goswami T.K., Datta Ashis K. Biscuit baking: A review // LWT. 2020. V. 131. P. 109726. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109726
- 13 Cairano M.D., Condelli N., Caruso M.C., Marti A. et al. Functional properties and predicted glycemic index of gluten free cereal, pseudocereal and legume flours // LWT, 2020. V.133. P. 109860. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109860
- 14 Moskvicheva E., Timoshenkova I., Chernikova D., Fedinishina E. et al. Technology of biscuit semi-finished products using recycled pumpkin seeds // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. V. 337. №. 1. P. 012036. doi: 10.1088/1755-1315/337/1/012036
- 15 Iorgachova K.G., Kotuzaki E.N., Makarova O.V. The influence of gluten-free flours on the quality indicators of biscuit semi-finished products // Grain Products and Mixed Fodder's. 2016. V. 64. №. 4.
- 16 Hovhannisyan N.G., Aloyan A.S., Durgaryan A.M. Manufacture and Use of Semi-Finished Fig Products in Biscuit Production // AgriScience and Technology. 2021. V. 2. №. 74.
- 17 Marinina E.A., Volkova E.M., Levchuk O.A., Sadigova M.K. et al. Development of a biscuit semi-finished diabetic purpose recipe // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. V. 953. №. 1. P. 012036. doi: 10.1088/1755-1315/953/1/012036
- 18 Pogorelova N.A., Moliboga E.A. Defining qualitative indicators of the pumpkin semi-finished product included in the confectionary technology in terms of competitiveness // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. 2017. V. 9. №. 10. P. 1705-1710.
- 19 Savenkova T.V., Soldatova E.A., Misteneva S.Y., Taleysnik M.A. Technological properties of flour and their effect on quality indicators of sugar cookies // Food systems. 2019. V. 2. №. 2. P. 13-19.
- 20 Misra N.N., Tiwari B.K. Biscuits // Bakery products science and technology. 2014. P. 585-601. doi: 10.1002/9781118792001.ch33

References

- 1 Shchetinin M.P., Khodyreva Z.R. Scientific and hygienic approaches to the development of frozen dessert. Nutrition Issues. 2018. no. 3. pp. 72-78. (in Russian).
- 2 Kovaleva A.E., Pyanikova E.A., Taratorina O.S., Tkacheva E.D. Technological parameters of production and recipe of the low-calorie semi-finished product "Brownie". Proceedings of VSUET. 2022. vol. 84. no. 1. pp. 105-111. doi: 10.20914/2310-1202-2022-1-105-111 (in Russian).
- 3 Kaur R., Kaur M. Microstructural, physicochemical, antioxidant, textural and quality characteristics of wheat muffins as influenced by partial replacement with ground flaxseed. LWT. 2018. vol. 91. pp. 278-285. doi: 10.1016/j.lwt.2018.01.059
- 4 Dzhakhangirova G.Z., Makhmudova D.Kh., Usmonkhuzhaeva F.Kh.K. Application of non-traditional raw materials in the technology of flour confectionery products. Universum: technical sciences. 2019. no. 7 (64). pp. 28-31. Available at: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/7626> (in Russian).
- 5 Giraje N., Hedao R. Serving vegan palates nutritiously: fortification of vegan cake with garden cress seeds and rose petal preserve as functional ingredients. Indian J. Publ. Health. 2019. vol. 10. no. 7. pp. 1582-1587. doi: 10.5958/0976-5506.2019.01822.9
- 6 Movahhed M.K., Mohebbi M., Koocheki A. et. al. Application of TOPSIS to evaluate the effects of different conditions of sonication on eggless cake properties, structure, and mass transfer. J. Food Sci. 2020. vol. 85. no. 5. pp. 1479-1488. 10.1111/1750-3841.15117
- 7 Pyanikova E.A., Kovaleva A.E., Ovchinnikova E.V., Taratorina O.S. and others. Rationale for the use of ingredients to obtain low-calorie chocolate biscuit "Brownie". Achievements of Science and Technology. 2022. vol. 36. no. 8. pp. 58-64. (in Russian).
- 8 Arepally D., Reddy R.S., Coorey R., Goswami T.K. Modelling inactivation kinetics of free and encapsulated probiotic cells in millet biscuit under different baking conditions. Food Research International. 2023. vol. 174. no. 1. pp. 113573. doi: 10.1016/j.foodres.2023.113573
- 9 Shchetinin M.P., Khodyreva Z.R. Formation of the recipe composition of a biscuit gluten-free semi-finished product. Design and modeling of new generation food products. 2019. no. 1. pp.106-115. (in Russian).
- 10 Brown R.C., Ware L., Gray A.R., Tey S.L. et al. Comparing the Effects of Consuming Almonds or Biscuits on Body Weight in Habitual Snackers: A 1-Year Randomized Controlled Trial. The American J. of Clinical Nutrition. 2023. vol. 118 (1). pp. 228-240. doi: 10.1016/j.ajcnut.2023.05.015
- 11 Samsonova E.D., Krasnoshtanova A.A. Increasing the nutritional value and beneficial properties of products using oat flour. Advances in chemistry and chemical technology. 2020. vol. 34. no. 11 (234). pp. 16-18. (in Russian).
- 12 Arepally D., Reddy R.S., Goswami T.K., Datta Ashis K. Biscuit baking: A review. LWT. 2020. vol. 131. pp. 109726. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109726

- 13 Cairano M.D., Condelli N., Caruso M.C., Marti A. et al. Functional properties and predicted glycemic index of gluten free cereal, pseudocereal and legume flours. *LWT*, 2020. vol.133. pp. 109860. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109860
- 14 Moskvicheva E., Timoshenkova I., Chernikova D., Fedinishina E. et al. Technology of biscuit semi-finished products using recycled pumpkin seeds. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. vol. 337. no. 1. pp. 012036. doi: 10.1088/1755-1315/337/1/012036
- 15 Iorgachova K.G., Kotuzaki E.N., Makarova O.V. The influence of gluten-free flours on the quality indicators of biscuit semi-finished products. *Grain Products and Mixed Fodder's*. 2016. vol. 64. no. 4.
- 16 Hovhannisyan N.G., Aloyan A.S., Durgaryan A.M. Manufacture and Use of Semi-Finished Fig Products in Biscuit Production. *AgriScience and Technology*. 2021. vol. 2. no. 74.
- 17 Marinina E.A., Volkova E.M., Levchuk O.A., Sadigova M.K. et al. Development of a biscuit semi-finished diabetic purpose recipe. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. vol. 953. no. 1. pp. 012036. doi: 10.1088/1755-1315/953/1/012036
- 18 Pogorelova N.A., Moliboga E.A. Defining qualitative indicators of the pumpkin semi-finished product included in the confectionary technology in terms of competitiveness. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2017. vol. 9. no. 10. pp. 1705-1710.
- 19 Savenkova T.V., Soldatova E.A., Misteneva S.Y., Taleysnik M.A. Technological properties of flour and their effect on quality indicators of sugar cookies. *Food systems*. 2019. vol. 2. no. 2. pp. 13-19.
- 20 Misra N.N., Tiwari B.K. Biscuits. *Bakery products science and technology*. 2014. pp. 585-601. doi: 10.1002/9781118792001.ch33

Сведения об авторах

Анна Е. Ковалева к.х.н., доцент, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров, Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, a.e.kovaleva@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7807-1755>

Эльвира А. Пьяникова к.т.н., доцент, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров, Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, alia1969@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4424-7323>

Анастасия С. Рязанцева магистр, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров, Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, an.ryazantseva2016@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Егор Т. Грешилов магистр, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров, Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, egorgreshilov99@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Оксана В. Евдокимова д.т.н., профессор, кафедра анатомии, физиологии и хирургии, Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, ул. Генерала Родина, 69, г. Орел, 302019, Россия, evdokimova_oxana@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0393-2327>

Вклад авторов

написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Anna E. Kovaleva Cand. Sci. (Chem.), associate professor, commodity science, technology and examination of goods department, South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040 Russia, a.e.kovaleva@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7807-1755>

Elvira A. Pyanikova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, commodity science, technology and examination of goods department, South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040 Russia, alia1969@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4424-7323>

Anastasia S. Ryazantseva master student, commodity science, technology and examination of goods department, South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040 Russia, an.ryazantseva2016@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Egor T. Greshilov master student, commodity science, technology and examination of goods department, South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040 Russia, egorgreshilov99@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Oksana V. Evdokimova Dr. Sci. (Engin.), professor, anatomy, physiology and surgery department, Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Generala Rodina str., 69, Orel, 302019, Russia, evdokimova_oxana@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0393-2327>

Contribution

wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 08/01/2024	После редакции 30/01/2024	Принята в печать 15/02/2024
Received 08/01/2024	Accepted in revised 30/01/2024	Accepted 15/02/2024

Создание ассоциаций пробиотиков для пищевых продуктов и кормов

Галина С. Волкова¹ galina.volkova@bk.ru  0000-0003-4051-1828

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии, ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия

Аннотация. Целью исследования являлось конструирование ассоциаций пробиотических бактерий с использованием комплекса современных методов микробиологических исследований с целью использования в функциональных пищевых продуктах и кормовых добавках. Подобранные штаммы молочнокислых и пропионовокислых бактерий по биологической совместимости и отсутствию конкурентных взаимодействий. Культивирование и количественный учет микроорганизмов проводили на среде MRS. По результатам сконструировано 2 консорциума бактерий, содержащих *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* 24/48, *Lactobacillus plantarum* 578/25, *Lactobacillus helveticus* 842 (D)-2, *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* Ac-103/12, *Propionibacterium shermanii* K-16. Исследование биологической совместимости молочнокислых бактерий проводили по капельной методике. Получены новые экспериментальные данные по показателям роста ассоциаций и количеству накопленной биомассы на 20 часов роста, что является научной новизной данного исследования. Показано, что характер межштаммовых взаимодействий имеет важное значение при отборе штаммов в состав пробиотических ассоциаций. Установлено, что изучаемые штаммы молочнокислых и пропионовокислых бактерий в ассоциации должны присутствовать в соотношении 2:1, ферментация при периодическом перемешивании в анаэробных условиях при 37°C и pH 5,9-6,0. Последовательное внесение культур бактерий целесообразно проводить после 3-4 часа предварительной инкубации молочнокислых бактерий. Экспериментальные данные содержат установленные новые закономерности. Отмечено, что для лечебно-профилактического эффекта концентрация пробиотиков в сухих препаратах должна составлять не менее 10 в степени 10-12 КОЕ/г препарата, поэтому при накоплении биомассы бактерий в технологическом процессе следует учитывать 10-20%-ную гибель популяции в процессе сушки или концентрирования.

Ключевые слова: пробиотики, молочнокислые бактерии, ассоциация, биологическая совместимость, культивирование, биомасса.

Establishment of probiotic associations for foods and feeds

Galina S. Volkova¹ galina.volkova@bk.ru  0000-0003-4051-1828

¹ All-Russian Research Institute of Food Biotechnology, 4B Samokatnaya St., Moscow, 111033, Russia

Abstract. The aim of the study was to design associations of probiotic bacteria using a set of modern methods of microbiological research for the purpose of use in functional food products and feed additives. Strains of lactic acid and propionic acid bacteria were selected according to biological compatibility and absence of competitive interactions. Cultivation and quantification of microorganisms were carried out on MRS medium. Based on the results, 2 consortia of bacteria were constructed containing *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* 24/48, *Lactobacillus plantarum* 578/25, *Lactobacillus helveticus* 842 (D)-2, *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* As-103/12, *Propionibacterium shermanii* K-16. The study of biological compatibility of lactic acid bacteria was carried out by drop method. New experimental data on the growth rates of associations and the amount of accumulated biomass at 20 hours of growth were obtained, which is a scientific novelty of this study. It is shown that the character of interstrain interactions is important in the selection of strains for probiotic associations. It was established that the studied strains of lactic acid and propionic acid bacteria in the association should be present in the ratio of 2:1, fermentation with periodic stirring in anaerobic conditions at 37°C and pH 5.9-6.0. Sequential introduction of bacterial cultures is advisable after 3-4 hours of pre-incubation of lactic acid bacteria. Experimental data contain established new regularities. It is noted that for therapeutic and prophylactic effect the concentration of probiotics in dry preparations should be not less than 10 to the extent of 10-12 CFU/g of preparation, so the accumulation of bacterial biomass in the technological process should take into account 10-20% death of the population in the process of drying or concentrating.

Keywords: probiotics, lactic acid bacteria, association, biocompatibility, cultivation, biomass..

Введение

Создание новых пищевых продуктов и кормов с пробиотическими свойствами требует современного научного подхода к выбору микроорганизмов и их ассоциаций с учетом показателей симбиотической сочетаемости и отсутствия антагонизма. За последние годы проведен целый ряд исследований по изучению механизма межштаммовых взаимодействий пробиотических бактерий [1–3]. Разработаны принципы эффективности пробиотических штаммов в части

выживаемости в условиях желудочно-кишечного тракта и достижения антагонистической активности [4–6], расширяется применение методов молекулярно-генетической идентификации штаммов для обеспечения показателей безопасности пищевой и кормовой продукции [7–8]. Имеются результаты исследований по изучению новых вариантов бактериальных ассоциаций на основе использования их технологически ценных свойств [9–10].

Для цитирования

Волкова Г.С. Создание ассоциаций пробиотиков для пищевых продуктов и кормов // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 103–107. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-103-107

For citation

Volkova G.S. Establishment of probiotic associations for foods and feeds. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 103–107. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-103-107

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Несмотря на все увеличивающийся массив научных публикаций, остается актуальной получение современной информации о вновь селекционированных пробиотических штаммах и сконструированных на их основе ассоциациях, использующихся в качестве пробиотиков. Требуют научного и экспериментального обоснования вопросы повышения биосинтеза биологически активных веществ.

Цель работы – конструирование ассоциаций пробиотических бактерий с использованием комплекса современных методов микробиологических исследований для использования в функциональных пищевых продуктах и кормовых добавках. Задачи исследования – подобрать симбиотические сочетания штаммов молочнокислых и пропионовокислых бактерий с высоким уровнем накопления биомассы.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись культуры бактерий из коллекции ВНИИПБТ, полученные методом многоступенчатой селекции: *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* 24/48, *Lactobacillus plantarum* 314/7, *L. plantarum* 578/25, *L. acidophilus* 1660/15, *L. helveticus* 842 (D) – 2, *L. casei* subsp. *rhamnosus* M 536/12, *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* Ac-103/12, *Pr. shermanii* K-16. Культивирование и количественный учет микроорганизмов проводили на среде MRS, в анаэробных условиях при 37 °C после внесения 10% посевной культуры от объема питательной среды. Исследование биологической совместимости молочнокислых бактерий проводили по капельной методике [11]. Количество биомассы определяли методом взвешивания, количество живых микроорганизмов – путем посева на плотные питательные среды после приготовления разведений.

Результаты

Выбранные штаммы молочнокислых бактерий имеют определенную схожесть физиолого-биохимических свойств и являются активными продуцентами молочной кислоты. Проведены исследования штаммов на биологическую совместимость, результаты представлены на рисунке 1.

На фотографии видны четкие границы между каплями культуральной жидкости штаммов под номерами 1, 3 и 5, что свидетельствует об отсутствии биосовместимости пар штаммов-продуцентов. У пар штаммов под номерами 2 и 4 выраженная граница роста практически отсутствует, что свидетельствует о симбиотических взаимодействиях культуры *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* 24/48 с культурами *L. plantarum* 578/25 и *L. helveticus* 842 (D) – 2. Проведена серия ферментаций на среде MRS, что позволило

подтвердить парную совместимость штаммов: *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* 24/48 с *Lactobacillus plantarum* 578/25 и *Lactobacillus helveticus* 842 (D) – 2.

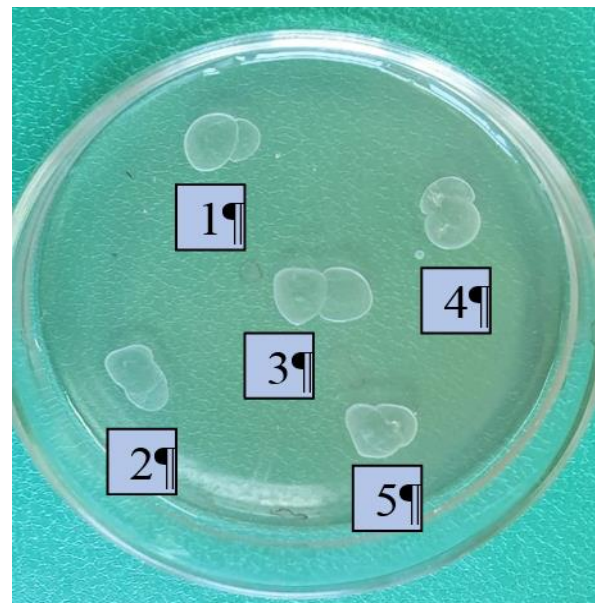


Рисунок 1. Проверка биосовместимости штамма *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* 24/48: 1 – *Lactobacillus plantarum* 314/7, 2 – *L. plantarum* 578/25, 3 – *L. acidophilus* 1660/15, 4 – *L. helveticus* 842 (D) – 2, 5 – *L. casei* subsp. *rhamnosus* M 536/12

Figure 1. Biocompatibility testing of *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* 24/48: 1 – *Lactobacillus plantarum* 314/7, 2 – *L. plantarum* 578/25, 3 – *L. acidophilus* 1660/15, 4 – *L. helveticus* 842 (D) – 2, 5 – *L. casei* subsp. *rhamnosus* M 536/12.

Аналогичным образом проводилось исследование по подбору биосовместимых пар пропионовокислых бактерий. Биосовместимыми являются штаммы *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* Ac-103/12 и *Propionibacterium shermanii* K-16. Выбор этих штаммов пропионовокислых бактерий обоснован тем, что они обладают доказанными пробиотическими свойствами, а штамм K-16 – активным продуцентом витамина B₁₂.

Разработаны 2 варианта бактериальных ассоциаций, способные к совместному росту и развитию без проявления явлений антагонизма:

- *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* 24/48, *Lactobacillus plantarum* 578/25, *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* Ac-103/12, *Propionibacterium shermanii* K-16 (Ассоциация 1).

- *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* 24/48 и *Lactobacillus helveticus* 842 (D) – 2, *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* Ac-103/12, *Propionibacterium shermanii* K-16 (Ассоциация 2).

Проведено совместное культивирование бактериальных ассоциаций с контролем за накоплением биомассы. Результаты представлены на рисунках 2 и 3.

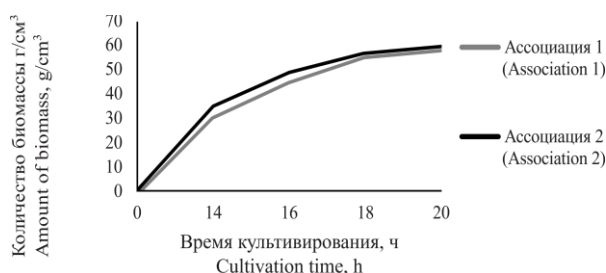


Рисунок 2. Накопление биомассы ассоциациями молочнокислых и пропионовокислых бактерий 1 и 2 при культивировании на жидкой питательной среде MRS и одновременном внесении культур

Figure 2. Biomass accumulation by associations of lactic acid and propionic acid bacteria 1 and 2 when cultured on MRS liquid nutrient medium and simultaneous culture application

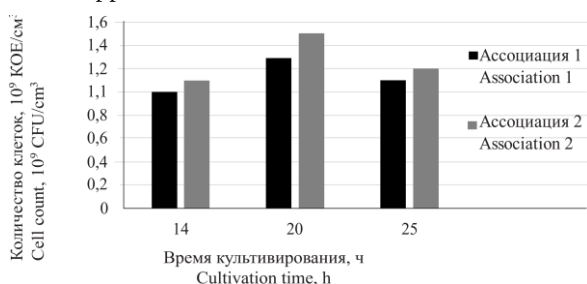


Рисунок 3. Количество живых клеток пробиотических бактерий в культуральной жидкости на конец культивирования

Figure 3. Number of live cells of probiotic bacteria in the culture liquid at the end of cultivation

Установлено, что пропионовокислые бактерий необходимо вносить после 3–4 часов роста молочнокислых бактерий, соотношение культур 2:1, ферментацию ведут при периодическом перемешивании в анаэробных условиях при 37 °C и pH 5,9–6,0. Максимальный титр жизнеспособных клеток пробиотических бактерий в активной фазе роста, целесообразно получать на 18–20 часа роста. Посев культуральной жидкости смешанной культуры из разведения, показал плотность популяции, отсутствие доминирования одной культуры над другой и сохранение заданного соотношения штаммов в составе ассоциации.

Известно, что для лечебно-профилактического эффекта на организм и обеспечения условий для адгезии бактерий в кишечнике, их концентрация в сухих препаратах должна быть не менее 10^{10} – 10^{12} КОЕ/г препарата. Поэтому при накоплении биомассы бактерий в технологическом процессе следует учитывать 10–20%-ную гибель популяции в процессе сушки или концентрирования.

Обсуждение

Полученные в статье экспериментальные данные являются продолжением исследований по созданию многостаммовых бактериальных

консорциумов для пробиотических препаратов пищевого и кормового назначения [9]. Актуальность направления исследований по созданию новых высокоэффективных бактериальных ассоциаций подтверждают ряд авторов [1, 9].

В ранее опубликованных материалах [3, 12, 13–20] отмечается, что молочнокислые бактерии в ассоциации с пропионовокислыми бактериями положительно влияют на микрофлору кишечника и могут использоваться в симбиозе. Опубликованы работы, подтверждающие преимущество ассоциаций биологически совместимых штаммов бактерий перед монокультурами [6].

Обзор литературных данных свидетельствует о недостаточности сведений о характере межштаммовых взаимодействий молочнокислых и пропионовокислых бактерий и применении их в практику отбора штаммов в состав пробиотических ассоциаций.

Результаты изучения биосовместимости штаммов *Lactococcus lactis subsp. lactis* 24/48 с *Lactobacillus. plantarum* 578/25 и *Lactobacillus helveticus* 842 (D) – 2, а также показатели роста ассоциаций и накопления биомассы являются оригинальными.

Заключение

Данное исследование свидетельствует о перспективе использования методики определения биосовместимости пробиотических штаммов для создания высокоэффективных ассоциаций молочнокислых и пропионовокислых бактерий, необходимых для разработки функциональных пищевых продуктов и кормовых добавок. Разработаны 2 ассоциации пробиотических бактерий с применением современных методов биотехнологии, таким образом задачи исследования выполнены.

Необходимыми стадиями разработки пробиотических ассоциаций являются: поиск новых высокоэффективных продуцентов, их генетическое типирование, поддержание активного состояния бактерий на конец времени ферментации, подбор защитных сред и режимов сушки для снижения уровня гибели бактерий, совершенствование выпускаемых форм препаратов.

Дальнейшие исследования будут проводиться в направлении получения функциональных пищевых ингредиентов на основе полученных ассоциаций.

Благодарности

Автор выражает благодарность старшему научному сотруднику лаборатории биотехнологии органических кислот ВНИИПБТ, к.т.н. Куксовой Е.В. за помощь в проведении экспериментальных исследований. Исследования выполнены в рамках государственного задания РАН № FGMF-2022-0006.

Литература

- 1 Хамагаева И.С., Бояринаева И.В., Потапчук Н.Ю. Исследование пробиотических свойств комбинированной закваски // *Техника и технология пищевых производств*. 2013. № 1 (28) С. 54–58.
- 2 Воробьева Л.И., Хасаева Ф.М., Василюк Н.В., Тренкуил Э. Характеристика пропионовокислых бактерий с использованием масс-спектрометрии матрично-активированной лазерной десорбции / ионизации (МАЛДИ). // *Микробиология*. 2011. Т. 80. № 5. С. 651–658.
- 3 Oleskin A.V., Shenderov B.A. Probiotics and Psychobiotics: the Role of Microbial Neurochemicals // *Probiotics & Antimicro*. 2019. № 11. P. 1071–1085. doi: 10.1007/s12602-019-09583-0
- 4 Шурхно Р.А. Микробиологический препарат на основе гомоферментативных штаммов *Lactobacillus plantarum*, выделенных из природных источников для биоконсервирования растительных ресурсов (обзор проведенных исследований в период с 2000 по 2015 г.) // *Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки*. 2016. Т. 158. № 1. С. 5–22.
- 5 Begunova A.V., Rozhkova I.V., Zvereva E.A., Glazunova O.A. et al. Lactic and propionic acid bacteria: the formation of a community for the production of functional products with bifidogenic and hypotensive properties // *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2019. V. 55. № 6. P. 660–669. doi: 10.1134/S0003683819060048
- 6 Сульtimiова Т.Д., Стоянова Л.Г. Изучение антибактериальных свойств консорциума микроорганизмов // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки*. 2018. № 2(22). С. 42–51. doi: 10.21685/2307-9150-2018-2-4
- 7 Шевелева С.А., Куваева И.Б., Ефимочкина Н.Р., Минаева Л.П. Микробиологическая безопасность пищи: развитие нормативной и методической базы // *Вопросы питания*. 2020. Т. 89. № 4. С. 125–145. doi: 10.24411/0042-8833-2020-10048
- 8 Zimina M.I., Gazieva A.F., Pozo-Dengra J., Noskova S.Yu., Prosekov A.Yu. Determination of the intensity of bacteriocin production by strains of lactic acid bacteria and their effectiveness // *Foods and Raw Materials*. 2017. V. 5. № 1. P. 108–117. doi: 10.21179/2308-4057-2017-1-108-117
- 9 Орлова Т.Н., Отт Е.Ф., Функ И.А., Дорофеев Р.В. Региональные штаммы молочнокислых бактерий в составе бактериальных композиций // *Молочная промышленность*. 2020. № 5. С. 42–43. doi: 10.31515/1019-8946-2020-05-42-43
- 10 Волкова Г.С., Серба Е.М. Создание многостаммового бактериального консорциума для технологии пробиотических препаратов кормового назначения. // *Техника и технология пищевых производств*. 2021. Т. 51. № 2. С. 260–269. doi: 10.21603/2074-9414-2021-2-260-269
- 11 Глушанова Н.А., Блинов А.И., Бахаев В.В. Об антагонизме пробиотических лактобацилл // *Эпидемиология и инфекционные болезни*. 2004. № 6. С. 37–39.
- 12 Hedayati R., Hosseini M., Najafpour G.D. Optimization of semi-anaerobic vitamin B12 (cyanocobalamin) production from rice bran oil using *Propionibacterium freudenreichii* PTCC1674 // *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2020. V. 23. doi: 10.1016/j.bcab.2019.101444
- 13 Martens J.H., Barg H., Warren M. et al. Microbial production of vitamin B12 // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2002. V. 58. № 3. P. 275–285. doi: 10.1007/s00253-001-0902-7
- 14 Markowiak P., Śliżewska K. The role of probiotics, prebiotics and synbiotics in animal nutrition // *Gut pathogens*. 2018. V. 10. P. 1-20.
- 15 Binda S., Hill C., Johansen E., Obis D. et al. Criteria to qualify microorganisms as “probiotic” in foods and dietary supplements // *Frontiers in microbiology*. 2020. V. 11. P. 1662. doi: 10.3389/fmicb.2020.01662
- 16 Salminen S., Collado M.C., Endo A., Hill C. et al. The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics // *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*. 2021. V. 18. № 9. P. 649-667.
- 17 Thomas L.V. Probiotics—the journey continues // *International Journal of Dairy Technology*. 2016. V. 69. № 4. P. 469-480. doi: 10.1111/1471-0307.12354
- 18 Uyeno Y., Shigemori S., Shimosato T. Effect of probiotics/prebiotics on cattle health and productivity // *Microbes and environments*. 2015. V. 30. № 2. P. 126-132. doi: 10.1264/jsme2.ME14176
- 19 Shokryazdan P., Faseleh Jahromi M., Liang J.B., Ho Y.W. Probiotics: from isolation to application // *Journal of the American College of Nutrition*. 2017. V. 36. № 8. P. 666-676. doi: 10.1080/07315724.2017.1337529
- 20 Alayande K.A., Aiyegoro O.A., Ateba C.N. Probiotics in animal husbandry: Applicability and associated risk factors // *Sustainability*. 2020. V. 12. № 3. P. 1087.

References

- 1 Khamagaeva I.S., Boyarinaeva I.V., Potapchuk N.Y. Research of probiotic properties of combined starter. Technics and technology of food production. 2013. no. 1 (28). pp. 54–58. (in Russian).
- 2 Vorobyeva L.I., Khasaeva F.M., Vasilyuk N.V., Trenkuil E. Characterisation of propionic acid bacteria using matrix-activated laser desorption/ionization (MALDI) mass spectrometry. *Microbiology*. 2011. vol. 80. no. 5. pp. 651–658. (in Russian).
- 3 Oleskin A.V., Shenderov B.A. Probiotics and Psychobiotics: the Role of Microbial Neurochemicals. *Probiotics & Antimicro*. 2019. no. 11. pp. 1071–1085. doi: 10.1007/s12602-019-09583-0
- 4 Shurkhno R.A. Microbiological preparation based on homofermentative strains of *Lactobacillus plantarum* isolated from natural sources for biopreservation of plant resources (review of research conducted in the period from 2000 to 2015). *Scientific Notes of Kazan University. Series: Natural Sciences*. 2016. vol. 158. no. 1. pp. 5–22. (in Russian).
- 5 Begunova A.V., Rozhkova I.V., Zvereva E.A., Glazunova O.A. et al. Lactic and propionic acid bacteria: the formation of a community for the production of functional products with bifidogenic and hypotensive properties. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2019. vol. 55. no. 6. pp. 660–669. doi: 10.1134/S0003683819060048
- 6 Sultimova T.D., Stoyanova L.G. Study of antibacterial properties of a consortium of microorganisms. *Izvestia of higher educational institutions. Volga region. Natural Sciences*. 2018. no. 2(22). pp. 42–51. doi: 10.21685/2307-9150-2018-2-4 (in Russian).

- 7 Sheveleva S.A., Kuvaeva I.B., Efimochkina N.R., Minaeva L.P. Microbiological safety of food: development of regulatory and methodological basis. *Nutrition Issues*. 2020. vol. 89. no. 4. pp. 125–145. doi: 10.24411/0042–8833–2020–10048 (in Russian).
- 8 Zimina M.I., Gazieva A.F., Pozo-Dengra J., Noskova S.Yu. et al. Determination of the intensity of bacteriocin production by strains of lactic acid bacteria and their effectiveness. *Foods and Raw Materials*. 2017. vol. 5. no. 1. pp. 108–117. doi: 10.21179/2308–4057–2017–1–108–117
- 9 Orlova T.N., Ott E.F., Funk I.A., Dorofeev R.V. Regional strains of lactic acid bacteria in bacterial compositions. *Dairy Industry*. 2020. no. 5. pp. 42–43. doi: 10.31515/1019–8946–2020–05–42–43 (in Russian).
- 10 Volkova G.S., Serba E.M. Creation of a multistrain bacterial consortium for the technology of probiotic preparations for feed purposes. *Technics and technology of food production*. 2021. vol. 51. no. 2. pp. 260–269. doi: 10.21603/2074–9414–2021–2–260–269. (in Russian).
- 11 Glushanova N.A., Blinov A.I., Bakhayev V.V. On the antagonism of probiotic lactobacilli. *Epidemiology and Infectious Diseases*. 2004. no. 6. pp. 37–39. (in Russian).
- 12 Hedayati R., Hosseini M., Najafpour G.D. Optimisation of semi-anaerobic vitamin B12 (cyanocobalamin) production from rice bran oil using *Propionibacterium freudenreichii* PTCC1674. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2020. vol. 23. doi: 10.1016/j. bcab.2019.101444
- 13 Martens J.H., Barg H., Warren M. et al. Microbial production of vitamin B12. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2002. vol. 58. no. 3. pp. 275–285. doi: 10.1007/s00253–001–0902–7
- 14 Markowiak P., Śliżewska K. The role of probiotics, prebiotics and synbiotics in animal nutrition. *Gut pathogens*. 2018. vol. 10. pp. 1–20.
- 15 Binda S., Hill C., Johansen E., Obis D. et al. Criteria to qualify microorganisms as “probiotic” in foods and dietary supplements. *Frontiers in microbiology*. 2020. vol. 11. pp. 1662. doi: 10.3389/fmicb.2020.01662
- 16 Salminen S., Collado M.C., Endo A., Hill C. et al. The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*. 2021. vol. 18. no. 9. pp. 649–667.
- 17 Thomas L.V. Probiotics—the journey continues. *International Journal of Dairy Technology*. 2016. vol. 69. no. 4. pp. 469–480. doi: 10.1111/1471–0307.12354
- 18 Uyeno Y., Shigemori S., Shimosato T. Effect of probiotics/prebiotics on cattle health and productivity. *Microbes and environments*. 2015. vol. 30. no. 2. pp. 126–132. doi: 10.1264/jsme2.ME14176
- 19 Shokryazdan P., Faseleh Jahromi M., Liang J.B., Ho Y.W. Probiotics: from isolation to application. *Journal of the American College of Nutrition*. 2017. vol. 36. no. 8. pp. 666–676. doi: 10.1080/07315724.2017.1337529
- 20 Alayande K.A., Aiyegoro O.A., Ateba C.N. Probiotics in animal husbandry: Applicability and associated risk factors. *Sustainability*. 2020. vol. 12. no. 3. pp. 1087.

Сведения об авторах

Галина С. Волкова д.т.н., заведующий лабораторией биотехнологии органических кислот, пищевых и кормовых добавок, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии, ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия, galina.volkova@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4051-1828>

Вклад авторов

Галина С. Волкова Обзор литературных источников, обработка экспериментального материала, написание рукописи, корректировка рукописи до подачи в редакцию, несет ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Galina S. Volkova Dr. Sci. (Engin.), head of laboratory of biotechnology of organic acids, food and feed additives, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology, 4B Samokatnaya St., Moscow, 111033, Russia, galina.volkova@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4051-1828>

Contribution

Galina S. Volkova Literature review, processing of experimental material, writing the manuscript, proofreading the manuscript before submission to the editorial board, responsible for plagiarism

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Поступила 25/01/2024	После редакции 12/02/2024	Принята в печать 27/02/2024
Received 25/01/2024	Accepted in revised 12/02/2024	Accepted 27/02/2024

Панировочные системы: II. Возможности безглютеновых альтернатив

Елена Н. Молчанова ¹	melena2004@ya.ru	 0000-0003-0708-1694
Марал Бердимуратова ¹	maral.berdimuratova@mail.ru	 0000-0002-4894-8621
Иван Д. Сечков ¹	sechkovi@gmail.com	 0009-0006-0161-3564

¹ Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское ш., 11, г Москва, 125080, Россия

Аннотация. Жареная продукция с использованием панировочных систем продолжают оставаться востребованной у потребителей. Для удовлетворения запроса в безглютеновых покрытиях многие исследователи сосредоточили свое внимание на применение различных видов муки и нетрадиционных сырьевых компонентах. Целью работы являлись обобщение и анализ научных публикаций, посвященных применению безглютенового сырья в панировочных системах, его влиянию на технологические свойства каждого вида многослойного панировочного покрытия и качества готовой продукции. Объектом исследования являлась рецензируемая зарубежная и отечественная научная литература, размещенная в базах данных Scopus, ScienceDirect, РИНЦ. Использованы методы поиска, отбора, систематизации, обобщения и анализа научных публикаций. Показано, что формирование органолептических показателей изделий с использованием панировочных систем происходит за счет различных реакций, вызванных нагреванием. Продукты реакции зависят от компонентного состава покрытия, вида масла и условий жарки. Использование альтернативных видов муки может повлиять на интенсивность тех или иных химических реакций с изменением ожидаемых сенсорных характеристик жареных продуктов. Также новое сырье не всегда может обеспечить технологические свойства жидкого теста: возможность адгезии к различным поверхностям пищевых продуктов, улучшение сцепления и прочности внешнего слоя, а также сохранения хрусткости в корочке, снижение поглощения масла при оптимальном удержании влаги в субстрате. При этом для получения продуктов традиционного качества, как правило, необходимы дополнительные компоненты. Анализ научной литературы показал, что наибольшее применение для этих целей нашли гидроколлоиды, которые позволяют улучшить реологические показатели теста с помощью процессов загущения, эмульгирования, стабилизации, способности к гелеобразованию, синергизма. Каждый вид гидроколлоидов оказывает влияние на различные реологические показатели теста и качество готовых изделий. Для безглютеновой альтернативы верхнего слоя можно использовать нетрадиционные ингредиенты. Показано, что потенциал сырья для панировочных покрытий еще не достаточно изучен и данное направление представляет интерес для дальнейших исследований.

Ключевые слова: безглютеновая мука, глютен, качество, кляр, гидроколлоиды, органолептические показатели, свойства.

Breading Systems: II. Opportunities For Gluten-Free Alternative

Elena N. Molchanova ¹	melena2004@ya.ru	 0000-0003-0708-1694
Maral Berdimuratova ¹	maral.berdimuratova@mail.ru	 0000-0002-4894-8621
Ivan D. Sechkov ¹	sechkovi@gmail.com	 0009-0006-0161-3564

¹ Russian Biotechnological University, Volokolamskoe h., 11 Moscow, 125080, Russia

Abstract. Fried products using breading systems continue to be in demand among consumers. To meet the demand for gluten-free coatings, many researchers have focused on the use of different types of flour and non-traditional raw materials. The purpose of the work was to summarize and analyze scientific publications devoted to the use of gluten-free raw materials in breading systems, its influence on the technological properties of each type of multilayer breading coating and the quality of the finished product. The object of the study was peer-reviewed foreign and domestic scientific literature posted in the Scopus, Science Direct, RSCI databases. Methods of search, selection, systematization, generalization and analysis of scientific publications were used. It has been shown that the formation of organoleptic characteristics of products using breading systems occurs due to various reactions caused by heating. The reaction products depend on the component composition of the coating, the type of oil and frying conditions. The use of alternative flours may affect the intensity of certain chemical reactions, altering the expected sensory characteristics of fried foods. Also, new raw materials cannot always provide the technological properties of batter: the possibility of adhesion to various surfaces of food products, improving the adhesion and strength of the outer layer, as well as maintaining crispness in the crust, reducing oil absorption with optimal moisture retention in the substrate. At the same time, to obtain products of traditional quality, additional components are usually required. An analysis of the scientific literature has shown that the greatest use for these purposes is found in hydrocolloids, which can improve the rheological properties of the dough through the processes of thickening, emulsification, stabilization, gelling ability, and synergism. Each type of hydrocolloids affects various rheological parameters of the dough and the quality of the finished products. For a gluten-free alternative to the top layer, non-traditional ingredients can be used. It is shown that the potential of raw materials for breading coatings has not yet been sufficiently studied and this area is of interest for further research.

Keywords: gluten-free flour, gluten, quality, batter, hydrocolloids, organoleptic characteristics, properties.

Для цитирования

Молчанова Е.Н., Бердимуратова М., Сечков И.Д. Панировочные системы: II. Возможности безглютеновых альтернатив // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 108–116. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-108-116

For citation

Molchanova E.N., Berdimuratova M., Sechkov I.D. Breading Systems: II. Opportunities For Gluten-Free Alternative. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 108–116. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-108-116

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Жареные продукты встречаются в традиционных и региональных кухнях практически во всех частях мира и ценятся из-за их вкусовых качеств – золотистого цвета, приятного аромата, хрустящей корочки.

Изменение образа жизни и пищевых привычек, широкий ассортимент и доступность полуфабрикатов и кулинарной продукции с использованием кляра и панировочных сухарей в торговых сетях и предприятиях общественного питания привели к увеличению их потребления. Однако в настоящее время потребители заинтересованы не только во вкусных и питательных продуктах, но и в продуктах с особыми свойствами, например, без ингредиентов с клейковинными белками.

Увеличение спроса на данную продукцию обусловлено несколькими причинами. Главная – это исключение глютена из рациона по медицинским показаниям, к которым относятся: целиакия и другие аутоиммунные состояния; аллергия на пшеничную муку (респираторная, пищевая, контактная и др.); чувствительность к глютену (нецелиакическая непереносимость глютена) [2]. В последнем случае при попадании клейковинных белков в организм, отмечаются симптомы, сходные с целиакией, но ни аллергические, ни аутоиммунные механизмы в развитие состояния не вовлечены. Независимо от того, как проявляется непереносимость глютена и в какой из форм она диагностирована, заболевание требует соблюдения строгой безглютеновой диеты. Второй причиной, по которой исследователи и производители занимаются проблемой разработки безглютеновой продукции, является увеличение числа потребителей, не желающих потреблять сырьевые компоненты, содержащие глютен, для поддержания эффекта «ореола здоровья». Несмотря на то, что продукты без глютена обычно содержат меньше клетчатки, витаминов группы В, витамина D, железа, кальция, цинка, а также отсутствие доказательств существенных преимуществ соблюдения безглютеновой диеты для населения в целом показано, что потребители часто воспринимают безглютеновый рацион как более здоровый [32]. Отчасти такое восприятие формируется с помощью информации в социальных сетях.

Следующая причина связана с ростом числа потребителей, не отказывающихся пробовать различные новинки. В настоящее время промышленность предлагает множество различных безглютеновых пищевых продуктов и кулинарных изделий, в том числе с новыми видами сырьевых ингредиентов. Поэтому создавшийся рост потребительского спроса

переводит рынок безглютеновых продуктов питания из специализированной ниши в рынок традиционных продуктов [22, 32].

Материалы и методы

Объектом исследования являлась рецензируемая зарубежная и отечественная научная литература за последние двадцать лет, размещенная в базах данных Elsevier's Science Direct, Scopus, РИНЦ. При поиске использовались ключевые слова «gluten-free» в сочетании с терминами «batter», «breader», «breading», «breadcrumbs», «coatings», «nuggets», а также «без клейковины», «без глютена», «панировка», «панировочные сухари», «кляр». Использованы методы поиска, отбора, анализа, обобщения и синтеза результатов научных данных. Обзор включает анализ 44 зарубежных и отечественных литературных источников исследовательских и обзорных публикаций, соответствующих тематике, исключая материалы конференций, сборников трудов и т. п.

Результаты

Качество изделий с использованием панировочных систем. Учитывая, что панировочные покрытия оказывают заметное влияние на формирование вкуса, запаха и других органолептических показателей качества готовой продукции к ним предъявляется ряд требований: возможность адгезии к различным поверхностям пищевых продуктов, улучшение сцепления и прочности внешнего слоя, сохранения хрусткости в корочке, снижение поглощения масла при оптимальном удержании влаги в субстрате. Поэтому привлекательность панировочных систем при использовании новых видов сырья не должна ухудшаться с точки зрения сенсорных качеств при оптимальной абсорбции жира.

Известно, что наличие клейковинных белков способствует типичным вязкоупругим свойствам, которые обеспечивают хорошее сцепление пищевой матрицы и оптимальное формирование теста на различных этапах технологического процесса приготовления таких продуктов как хлеб, макароны, ряд мучных кондитерских изделий и различной кулинарной продукции с панировочным покрытием. И хотя проблемы, связанные с отсутствием клейковинных белков в панировочных системах, кажутся менее значимыми ввиду отличительных особенностей сенсорных характеристик таких изделий, необходимость получения адекватной вязкости и других желаемых свойств теста часто требует дополнительных исследований и изменения рецептуры при использовании новых компонентов для сохранения привычных органолептических показателей.

В целом, механизмы, ответственные за органолептические свойства панированных изделий, достаточно сложны, т. к. при высоких температурах во время жарки происходят различные реакции, вызванные нагреванием, включая денатурацию белков, клейстеризацию крахмала, окисление липидов, реакцию меланоидинообразования и др.

Одним из главных факторов привлекательности для потребителя является вкус и аромат жареных блюд. Возникающий при жарке аромат характеризуется большим разнообразием различных летучих соединений: альдегидов, спиртов, кетонов, карбоновых кислот, гетероциклических соединений, углеводов и др. [14, 43]. Среди них важную роль играют ненасыщенные альдегиды (например, 2,4 – декадиеналь), поскольку они обеспечивают сильный вкус жареного при относительно низких концентрациях из-за их низких пороговых значений. Формирование приятных летучих вкусовых соединений обычно связано не только с окислением липидов и реакцией Майяра, но и с взаимодействием промежуточных и/или конечных продуктов этих реакций между собой, а также с оптимальной доступностью кислорода для соответствующей скорости окисления липидов. Вкусу жареных панированных изделий способствуют свободные аминокислоты и пептиды, образующиеся в результате расщепления белков панировочных покрытий. Продукты реакции зависят от компонентного состава покрытия, вида масла и условий жарки [14, 39].

Желаемый золотистый цвет жареных продуктов является результатом неферментативной реакции потемнения Майяра. Интенсивность реакции связана с количеством редуцирующих сахаров и аминокислот, присутствующих в компонентах панировочной системы, а также с температурой и временем жарки. Потребители обычно предпочитают жареные продукты золотистого цвета. В исследованиях для восприятия и описания цвета используют колориметры или технологии компьютерной визуализации. С инструментальной точки зрения цвет часто описывается трехцветными цветовыми координатами, такими как система Lab, где L – яркость, а – краснота / зеленость, а b – желтизна / голубизна. Мету общего изменения цвета продукта в результате какого-либо процесса, например жарки, можно охарактеризовать разницей цвета ΔE. Общепринятым хорошим качеством и внешним видом, соответствующим координатам цветового пространства, является более высокое значение L и b и меньшее значение a. Тогда как жарка обычно вызывает уменьшение L, увеличение a (покраснение) и увеличение b

(желтизна), что приводит к увеличению значения ΔE. Реакция Майяра приводит к увеличению значений a и b, вызывает уменьшение L [11].

На хрустящую текстуру жареных продуктов в значительной степени влияет состав панировочного покрытия, поглощение им масла, а также миграция воды на этапах жарки и охлаждения [39]. Известно, что более высокое содержание белка приводит к более твердой текстуре и хрустящей корочке. У некоторых альтернативных видов муки количество белка ниже, что может привести к мягкой или ломкой текстуре. На текстуру также может повлиять и тип масла, используемого для жарки. Показано, что показатель хрусткости увеличивается по мере увеличения степени насыщенности масла [28].

Таким образом, изменение рецептурных компонентов панировочных систем может повлиять на интенсивность тех или иных химических реакций с изменением ожидаемых сенсорных характеристик жареных продуктов и сказаться на намерениях покупки.

Технологические свойства панировочных систем. Панировочные покрытия должны обеспечивать необходимые технологические свойства при приготовлении панированных изделий: способствовать адгезии к различным поверхностям, удерживать влагу субстрата в оптимальных значениях, создавать прочность внешнего слоя с сохранением хрусткости в корочке, а также способствовать меньшему поглощению масла при жарке.

В большей части панированной продукции используются многослойные панировочные системы. Каждый слой покрытия (для предварительной обработки, промежуточный слой и слой внешней панировки) вносит свой вклад в различные аспекты, формирующие качество продукта [3, 4].

Так называемое «предварительное напыление», поглощая влагу из субстрата, необходимо для улучшения адгезии и удерживания рецептурного количества теста. Для этого обычно используется пшеничная мука или комбинация различных видов муки, креккерная мука, крахмал, в том числе модифицированный, мелкие панировочные сухари, приправы, камеди.

Жидкое тесто как часть панировочной системы может иметь различные предназначения: в качестве промежуточного слоя оно улучшает адгезию панировочных сухарей (адгезионное тесто), формирует оболочку вокруг субстрата (когезионное тесто) или создает достаточно объемный воздушный слой (тесто темпура) [38].

Панировочные сухари в многослойной системе являются наружным слоем панировочного покрытия. Различные виды этого элемента имеют характерный вкус, размер, текстуру,

цвет, устойчивость к обжариванию и другие показатели, характеризующие качество покрытия [15, 16]. Самой распространенной является крошка, получаемая из выпеченного и подсушенного хлеба. При необходимости, панировочные сухари для улучшения внешнего вида легко смешиваются с красящими ингредиентами (например, паприкой или куркумой) или специями и другими ароматообразующими компонентами в различных комбинациях для придания продукту насыщенного цвета или новых вкусовых оттенков.

Таким образом, при использовании безглютенового покрытия должны быть учтены изменения в рецептурах каждого компонента панировочной системы с сохранением привычных органолептических качеств готового продукта.

Предварительное «напыление» является первым компонентом многослойной системы покрытия для создания лучшей адгезии с последующим слоем. Учитывая подобность химического состава и крупность помола многих видов муки, в том числе безглютеновой, можно предположить возможность использования каждого вида в качестве предварительного напыления. Исключением является мука из бобовых, которая, несмотря на наличие значительного ассортимента в торговых сетях, не желательна в данном качестве. Большинство семян зернобобовых культур содержит антипитательные вещества, для инактивации которых требуются другие условия термической обработки. Однако бобовую муку, применяя ряд дополнительных технологических приемов, можно использовать для приготовления жидкого теста. При этом, несмотря на возможность появления слегка «бобового» привкуса, высокое содержание белка является хорошим преимуществом, особенно при использовании веганских аналогов мяса, птицы или рыбы. Любые неприятные нотки вкуса можно смягчить, используя дрожжевые экстракты, неактивные пищевые дрожжи или другие ингредиенты, маскирующие вкус.

Кроме муки в качестве первого слоя в многослойной панировочной системе предлагалось использование окисленного крахмала и гидроколлоидов [6]. Эффективность зависела от используемых технологических приемов. Так, окисленный крахмал показал хорошие результаты при различных способах приготовления (при жарке во фритюре, духовом шкафу или микроволновой печи), а гидроксипропилметилцеллюлоза и ксантановая камедь проявили лучшие адгезионные свойства, при использовании только в микроволновой печи.

Жидкое тесто (кляр). Реологические свойства являются одними из наиболее важных физических свойств, определяющих поведение

жидкого теста. Например, вязкость напрямую влияет на конечные характеристики изделий в тесте (внешний вид, хрусткость, влажность) и, таким образом, играет ключевую роль в промышленных процессах производства продукции с покрытием. Отсутствие клейковины в альтернативных видах муки часто не обеспечивает необходимые реологические показатели кляра, поэтому для получения оптимальных свойств необходимо добавление компонентов, которые придадут тесту желаемое реологическое поведение.

Для приготовления безглютенового теста вместо пшеничной муки можно использовать не только традиционно применяемые в производстве таких изделий рисовую и кукурузную муку, но ряд других. В частности для данных целей рассматривалась мука из амаранта, семян чиа, лебеды, сорго, тапиоки, бобовых [9, 10, 20, 36, 37]. Все виды являются богатыми источником пищевых волокон, витаминов и минеральных веществ, а также биологически активных компонентов. Однако не все виды муки способны удовлетворить необходимым технологическим свойствам и получить готовый продукт желаемого качества. Так, органолептические показатели нагеттсов с использованием муки тапиоки были оценены как неудовлетворительные [36]. С точки зрения безопасности при определении количества акриламида, одного из главных вредных соединений, образующихся при жарке, показано, что при использовании муки чиа в качестве ингредиента содержание акриламида было минимальным [12].

Чаще всего технологические свойства муки оценивают не только по вязкости, но и по другим показателям. Так, для различных видов муки – льняной, рисовой, нутовой, кукурузной, кунжутной, муки из тыквенных семечек, из семян киноа и чиа были рассмотрены водо- и жирудерживающая способность (ВУС и ЖУС, соответственно), набухаемость, эмульгирующая способность. Результаты исследований показали, что ВУС для муки льняной и муки из семян чиа самая высокая и находится в диапазоне 8,0–10,0 г/г, для остальных видов – в два-три раза ниже (2,5–5,0 г/г). Установлено, что ВУС почти всех образцов увеличивается при выдерживании смеси в нагретой воде [1]. Набухаемость для муки льняной и муки из семян чиа составляла 10–12 г/г, для остальных видов была значительно ниже и не превышала 5,0 г/г. Показатели ЖУС исследуемых образцов муки имели меньшие различия между собой и колебались в незначительных пределах от 3,31 до 3,59 г/г. При нагревании и выдержке смеси в течение 60–120 минут они

существенно снижались – до 0,38...0,50 г/г. Образцы эмульсий, приготовленных при комнатной температуре с использованием муки льняной, кунжутной, муки из семян тыквы и семян чиа, были более устойчивы по сравнению с остальными [1].

Изменение реологических свойств жидкого теста в процессе приготовления является одним из важных в получении желательных характеристик продуктов. Вязкость жидкого теста является функцией нескольких переменных, включая вид муки, ее состав (особенно содержание белка, крахмала и пентозанов), размер частиц, количество присутствующей воды и температуру. Изучая реологические свойства теста из различных видов муки показано, что вязкость может варьировать в различных пределах: от 1,08 – у кукурузной муки до 7,41 Па.с – у пшеничной; у рисовой – занимала промежуточное положение (4,46 Па.с) [40, 41]. Добавление соли (2,5 %) снижало вязкость теста всех образцов. Тесто из кукурузной и рисовой муки имело более «песчанистую» структуру, потому что белки данных видов зерновых плохо впитывают воду при низких температурах, не набухают и не образуют связи друг с другом. Кроме особенностей белковых веществ данных видов муки различия в вязкоупругих свойствах теста могут быть связаны с различиями в размерах частиц. Как правило, вязкость увеличивается с увеличением размера частиц. При сравнении качества теста из рисовой и соевой муки установлено, что соевая мука обеспечивала наибольшую кажущуюся вязкость, улучшенную хрусткость и цвет [21]. Следует отметить, кукурузная мука, как белая, так и желтая, является основным ингредиентом для многих видов жидкого безглютенового теста. При этом желтая кукурузная мука является более предпочтительной, т. к. способствует не только текстуре, но и придает более приятный цвет готовому изделию.

Известно, что различное соотношение крахмальных полисахаридов в некоторых зерновых культурах, например в рисе, оказывает влияние на консистенцию готовых блюд. Данное обстоятельство побудило исследователей [34] изучить влияние содержания амилозы в рисовой муке на физические свойства жидкого теста. Мука была получена из различных типов риса, при этом содержание амилозы колебалось от 6 до 29 %. Результаты эксперимента показали, что вязкость рисового теста была обратно пропорциональна содержанию амилозы. Наилучшие результаты были получены при комбинировании различных образцов муки. Авторы предположили, что при этом достигается близкое к составу

крахмала в пшеничной муке соотношение амилоза-амилопектин.

Роль гидроколлоидов в показателях качества жидкого теста. В последние десятилетия широкое применение в производстве безглютеновой продукции (хлеба, печенья, кексов, лапши и др.) нашли гидроколлоиды [23–26, 29]. Включение их в рецептуру позволяет имитировать реологические свойства клейковинных белков с получением продуктов традиционных органолептических качеств.

Гидроколлоиды также используются как ингредиент панировочных систем [7, 8, 13, 17–19, 27, 41, 42]. Важным преимуществом гидроколлоидов в жареных продуктах является снижение поглощения масла при жарке, что позволяет удовлетворять спрос с учетом увеличивающихся тенденций потребителей к здоровому питанию. Кроме этого, они обеспечивают широкий спектр технологических параметров, включая вязкость, адгезию, механическую стойкость внешней корочки и устойчивость к замораживанию-оттаиванию [18, 38].

Большинство гидроколлоидов оказывают существенное влияние на доступную свободную воду, что соответственно влияет на реологию жидкого теста, при этом изменение физических свойств происходит с помощью различных процессов: загущения, эмульгирования, стабилизации [35]. Способность гидроколлоидов к гелеобразованию позволяет улучшить адгезионные свойства. Не гелеобразующие камеди (гуар, трагакант и ксантан) не оказывают существенного влияния на адгезию.

При связывании с крахмалом гидроколлоиды обладают сильным синергическим действием и улучшают его реологические и термические показатели [30, 44]. Так, при изучении влияния нескольких видов камедей на реологические свойства жидкого теста на основе крахмала установлено, что по интенсивности водосвязывающей способности камеди можно расположить в ряд: ксантановая камедь > карбоксиметилцеллюлоза Na > гуаровая камедь; по степени вязкости теста: ксантановая камедь > гуаровая камедь > карбоксиметилцеллюлоза. Аналогичная зависимость наблюдалась в показателях динамических модулей при температуре ниже 40 °С. Методом термогравиметрии показано, что при дальнейшем повышении температуры гидроколлоиды замедляли клейстеризацию крахмала и повышали его термическую стабильность. Структура теста, образованная ксантановой камедью, во время жарки во фритюре была менее подвержена повреждениям – образованию трещин и пор. Все гидроколлоиды усиливали термическую

стабильность корочки и уменьшали проникновение масла в жареные изделия.

Ученые [19] исследовали совместное влияние гидроколлоидов (мethylcellulозы и карбоксимethylcellulозы), кукурузного крахмала и смеси рисовой и кукурузной муки. Результаты показали, что добавление карбоксимethylcellulозы оказало большее положительное влияние на сенсорные свойства продуктов.

В качестве безглютеновой альтернативы верхнего слоя панировки традиционно используют крошку, приготовленную из хлеба или крекеров, не содержащих глютен. В качестве нетрадиционных ингредиентов были предложены прессованный рис, тонкая вермишель, кокос, сушеные овощи, окара совместно с ламинарией [3, 5, 31, 36], которые также дают возможность расширить ассортимент безглютеновых панировочных систем. Для сухих крошек из корня петрушки и сельдерея при использовании их совместно с клеем на рисовой основе установлен оптимальный размер частиц – 0,8 мм и получена математическая модель зависимости органолептических показателей от вязкости клея [5]. Показано, что при применении прессованного риса показало высокую степень адгезии при меньшем жиропоглощении. Гранулы соево-ламинариевой композиции, имеющие высокое содержание витамина Е, йода, пищевых волокон и белка, возможно применять не только для панирования, но и в качестве компонента фаршевых систем [3]. Кокосовая крошка, как побочный отход процесса экстракции кокосового

молока, с точки зрения физико-химических, микробиологических и сенсорных свойств может быть подходящим покрытием для безглютеновых изделий, несмотря на низкое содержание белка. Учитывая, что при высоких температурах сахара кокоса могут стать причиной темного цвета в результате реакции меланоидинообразования, рекомендуется отдавать предпочтение несладким сортам. Для получения знакомого аромата лучше добавить экстракт кокоса в маринад.

Заключение

Таким образом, жареные продукты во фритюре продолжают оставаться востребованными у потребителей. Растет интерес к использованию панировочных систем из альтернативного сырья. Для удовлетворения запроса в безглютеновых покрытиях многие исследователи сосредоточили свое внимание на применении различных видов муки и других ингредиентов. При этом для получения продуктов традиционного качества необходимы дополнительные компоненты. Наибольшее применение для этих целей нашли гидроколлоиды, которые позволяют улучшить реологические показатели теста и получить желаемые текстурные свойства готовых изделий. Потенциал различного сырья для безглютеновых панировочных покрытий еще не достаточно изучен, поэтому данное направление представляет интерес для дальнейших исследований.

Литература

- 1 Василенко З.В., Редько-Бодмер В.В. Разработка научно обоснованной технологии производства кулинарного изделия для безглютеновой диеты // Вестник Могилевского государственного университета продовольствия. 2018. №. 1. С. 27–31.
- 2 Каминарская Ю.А. Целиакия, аллергия к пшенице, нецелиакийная чувствительность к глютену: актуальные вопросы патогенеза и диагностики глютенассоциированных заболеваний // Клиническое питание и метаболизм. 2021. Т. 2. №. 3. С. 113–24. doi: 10.17816/clinut90770
- 3 Купчак Д.В., Любимова О.И. Панировка как фактор, формирующий качество продуктов // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2017. №. 4. С. 75–79
- 4 Раскина Т.А., Пирогова О.А., Зобнина О.В., Пинтова Г.А. Показатели системы остеокластогенеза у мужчин с различными клиническими вариантами анкилозирующего спондилита // Современная ревматология. 2015. Т. 9. № 2. С. 23–27. doi: 10.14412/1996-7012-2015-2-23-27
- 5 Молчанова Е.Н., Бердимуратова М. Панировочные системы: I. Виды, свойства, качество // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. №. 1. С. 87–98. doi: 10.20914/2310-1202-2023-1-87-98
- 6 Науменко Е.А., Анохина О.Н., Титова И.М. Безглютеновые панировки и их влияние на изменение физико-химических показателей рыбных полуфабрикатов в процессе холодильного хранения // Известия КГТУ. 2015. №. 36. С. 73–82.
- 7 Albert A., Perez-Munuera I., Quiles A., Salvador A. et al. Adhesion in fried battered nuggets: Performance of different hydrocolloids as preducts using three cooking procedures // Food Hydrocolloids. 2009. V. 23. № 5. P. 1443–1448. doi: 10.1016/j.foodhyd.2008.11.015
- 8 Altunakar B., Sahin S., Sumnu G. Effects of hydrocolloids on apparent viscosity of batters and quality of chicken nuggets // Chemical Engineering Communications. 2006. V. 193. № 6. P. 675–682. doi: 10.1080/00986440500194069
- 9 Amboon W., Tulyathan V., Tattiyakul J. Effect of Hydroxypropyl Methylcellulose on Rheological Properties, Coating Pickup, and Oil Content of Rice Flour-Based Batters // Food and Bioprocess Technology. 2012. V.5. № 2. P. 601–608. doi: 10.1007/s11947-010-0327-3
- 10 Aranibar C., Pigni N.B., Martinez M. et al. Utilization of a partially-deoiled chia flour to improve the nutritional and antioxidant properties of wheat pasta // LWT. 2018. V. 89. P. 381–387. doi: 10.1016/j.lwt.2017.11.003
- 11 Asha M.R., Susheelamma N.S., Guha M. Rheological properties of black gram (Phaseolus mungo) batter: characterisation of flour from native and modified rice and their effect on batter viscosity // International Journal of Food Science & Technology. 2007. V. 42. № 6. P. 669–677. doi: 10.1111/j. 1365-2621.2006.01459.x
- 12 Asokapandian S., Swamy G.J., Hajjul H. Deep fat frying of foods: A critical review on process and product parameters // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2019. V. 60. № 20. P. 3400–3413. doi: 10.1080/10408398.2019.1688761

- 13 Ateş E., Unal K. The effects of deep-frying, microwave, oven and sous vide cooking on the acrylamide formation of gluten-free chicken nuggets // *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 2023. V. 31. P. 100666. doi: 10.1016/j.ijgfs.2023.100666
- 14 Cengiz E., Dogan M. Effect of corn starch–hydrocolloid interactions on the rheological properties of coating batters // *Journal of Food Processing and Preservation*. 2021. V. 45. № 3. doi: 10.1111/jfpp.15250
- 15 Chang C., Wu G., Zhang H., Jin Q. et al. Deep-fried flavor: characteristics, formation mechanisms, and influencing factors // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019. V. 60. № 9. P. 1496–1514. doi: 10.1080/10408398.2019.1575792
- 16 Chen H.H., Kang H.Y., Chen S.D. The effects of ingredients and water content on the rheological properties of batters and physical properties of crusts in fried foods // *Journal of Food Engineering*. 2008. V. 88. № 1. P. 45–54. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.01.017
- 17 Chen R.Y., Wang Y., Dyson D. Breadings-what they are and how they are used // *Batters and breadings in food processing*. 2011. P. 169–184. doi: 10.1016/b978-1-891127-71-7.50015-2
- 18 Cui L., Chen J., Zhai J., Peng L. et al. Oil penetration of batter-breaded fish nuggets during deep-fat frying: effect of frying oils // *Foods*. 2022. V. 11. № 21. P.3369. doi: 10.3390/foods11213369
- 19 Cui L., Chen J., Zhai J., Peng L., Xiong Y.L. Hydrocolloids-aided control of oil penetration and distribution in deep-fried breaded fish nuggets // *Food Hydrocolloids*. 2023. V. 145. P. 109028. doi: 10.1016/j.foodhyd.2023.109028
- 20 Davarcioglu E.S., Kolsarici N. Effects of innovative gluten-free coatings on quality, sensory and microbial properties of chicken nuggets // *Italian Journal of Food Science*. 2019. V. 31. № 2. doi: 10.14674/IJFS-1401
- 21 Devatkal S.K., Kadam D.M., Naik P.K., Sahoo J. Quality characteristics of gluten-free chicken nuggets extended with sorghum flour // *Journal of Food Quality*. 2011. V. 34. № 2. P. 88–92. doi: 10.1111/j. 1745-4557.2010.00367.x
- 22 Dogan S.F., Sahin S., Sumnu G. Effects of batters containing different protein types on the quality of deep-fat-fried chicken nuggets // *European food research and technology*. 2004. V. 220. № 5–6. P. 502–508. doi: 10.1007/s00217-004-1099-7
- 23 El Khoury D., Balfour-Ducharme S., Joye I.J. A review on the gluten-free diet: technological and nutritional challenges // *Nutrients*. 2018. V. 10. № 10. P. 1410. doi: 10.3390/nu10101410
- 24 Gasparre N., Rosell C.M. Role of hydrocolloids in gluten free noodles made with tiger nut flour as non-conventional powder // *Food Hydrocolloids*. 2019. V. 97. P.105194. doi: 10.1016/j.foodhyd.2019.105194
- 25 Ishaq A., Nadeem M., Ahmad R., Ahmed Z. et al. Recent advances in applications of marine hydrocolloids for improving bread quality // *Food Hydrocolloids*. 2024. V. 148. P. 109424. doi: 10.1016/j.foodhyd.2023.109424
- 26 Irondi E.A., Imam Y.T., Ajani E.O., Alamu E.O. Natural and modified food hydrocolloids as gluten replacement in baked foods: Functional benefits // *Grain & oil science and technology*. 2023. V. 6. № 4. P. 163–171. doi: 10.1016/j.gaost.2023.10.001
- 27 Kraithong S., Theppawong A., Lee S., Huang R. Understanding of hydrocolloid functions for enhancing the physicochemical features of rice flour and noodles // *Food Hydrocolloids*. 2023. V. 142. P. 108821. doi: 10.1016/j.foodhyd.2023.108821
- 28 Lai W.H., Maskat M.Y. Effect of hydroxypropylmethyl cellulose (HPMC) coating on flavour, moisture and oil content in chicken nugget // *Sains malaysiaiana*. 2018. V. 47. № 11. P. 2699–2704. doi: 10.17576/jsm-2018-4711-13
- 29 Li X., Li J., Wang Y., Cao P. et al. Effects of frying oils' fatty acids profile on the formation of polar lipids components and their retention in French fries over deep-frying process // *Food chemistry*. 2017. V. 237. P. 98–105. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.05.100
- 30 Li J., Liu M., Qin G., Wu X. et al. Classification, gelation mechanism and applications of polysaccharide-based hydrocolloids in pasta products: A review // *International journal of biological macromolecules*, 2023. V. 248. P. 125956. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.125956
- 31 Mahmood K., Kamilah H., Shang P.L., Sulaiman S. et al. A review: Interaction of starch/non-starch hydrocolloid blending and the recent food applications // *Food Bioscience*. 2017. V. 19. P. 110–120. doi: 10.1016/j.fbio.2017.05.006
- 32 Nanda C., Chattopadhyay K., Reddy R., Javith M.A. et al. Evaluation of different conventional breeding materials on functional quality attributes of battered and breaded fish cutlets // *Journal of aquatic food product technology*. 2020. V. 29 № 7. P. 641–649. doi: 10.1080/10498850.2020.1786205
- 33 Prada M., Godinho C., Rodrigues D.L., Lopes C. et al. The impact of a gluten-free claim on the perceived healthfulness, calories, level of processing and expected taste of food products // *Food quality and preference*. 2019. V. 73. P. 284–287. doi: 10.1016/j.foodqual.2018.10.013
- 34 Pearlman M., Casey L. Who should be gluten-free? A review for the general practitioner // *Medical clinics of north america*. 2019. V. 103. № 1. P. 89–99. doi: 10.1016/j.mcna.2018.08.011
- 35 Pinkaew P. Development of gluten-free batter from three Thai rice cultivars and its utilization for frozen battered chicken nugget // *Journal of food science and technology*. 2019. V. 56. № 8. P. 3620–3626. doi: 10.1007/s13197-019-03791-w
- 36 Pirsä S., Hafezi K. Hydrocolloids: Structure, preparation method and application in food industry // *Food Chemistry*. 2023. V. 399. P. 133967. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.133967
- 37 Silva M.C.A. da, Leite J.S.F., Barreto B.G., Neves M.V. et al. The impact of innovative gluten-free coatings on the physicochemical, microbiological, and sensory characteristics of fish nuggets // *LWT*. 2021. V. 137. P. 110409. doi: 10.1016/j.lwt.2020.110409
- 38 Tamsen H., Shekarchizadeh H., Soltanizadeh N. Evaluation of wheat flour substitution with amaranth flour on chicken nugget properties // *LWT*. 2018. V. 91. P. 580–587.
- 39 Varela P., Fiszman S.M. Hydrocolloids in fried foods. A review // *Food Hydrocoll*. 2011. V. 25. № 8. P. 1801–1812. doi: 10.1016/j.foodhyd.2011.01.016
- 40 Wang X., McClements D.J., Xu Z., Meng M. et al. Recent advances in the optimization of the sensory attributes of fried foods: Appearance, flavor, and texture // *Trends in Food Science & Technology*. 2023. V. 138. P. 297–309. doi: 10.1016/j.tifs.2023.06.012
- 41 Xue J., Ngadi M. Rheological properties of batter systems formulated using different flour combinations // *Journal of Food Engineering*. 2006. V. 77. № 2. P. 334–341. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.06.039
- 42 Xue J., Ngadi M. Rheological properties of batter systems containing different combinations of flours and hydrocolloids // *Journal of the science of food and agriculture*. 2007. V. 87. № 7. P. 1292–1300. doi: 10.1002/jsfa.2845
- 43 Xue J., Ngadi M. Effects of methylcellulose, xanthan gum and carboxymethylcellulose on thermal properties of batter systems formulated with different flour combinations // *Food Hydrocolloids*. 2009. V. 23. № 2. P. 86–95. doi: 10.1016/j.foodhyd.2008.01.002
- 44 Zhang Q., Saleh A.S.M., Chen J., Shen Q. Chemical alterations taken place during deep-fat frying based on certain reaction products: A review // *Chemistry and Physics of Lipids*. 2012. V. 165. № 6. P. 662–681. doi: 10.1016/j.chemphyslip.2012.07.002

45 Zhou S., Hong Y., Gu Z., Cheng L. et al. Effect of heat-moisture treatment on the in vitro digestibility and physicochemical properties of starch-hydrocolloid complexes // Food Hydrocolloids. 2020. V. 104. P. 105736. doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.105736

References

- 1 Vasilenko Z.V., Redko-Bodmer V.V. Development of scientifically based technology for the production of culinary products for a gluten-free diet. Bulletin of the Mogilev State University of Food. 2018. no. 1. pp. 27–31. (in Russian).
- 2 Kaminarskaya Yu.A. Celiac disease, wheat allergy, non-celiac gluten sensitivity: current issues of pathogenesis and diagnosis of gluten-associated diseases. Clinical nutrition and metabolism. 2021. vol. 2. no. 3. pp. 113–24. doi: 10.17816/clinutr90770 (in Russian).
- 3 Kupchak D.V., Lyubimova O.I. Breeding as a factor shaping the quality of products. Technology and merchandising of innovative food products. 2017. no. 4. pp. 75–79. (in Russian).
- 4 Raskina T.A., Pirogova O.A., Zobnina O.V., Pintova G.A. Indicators of the osteoclastogenesis system in men with various clinical variants of ankylosing spondylitis. Modern rheumatology. 2015. vol. 9. no. 2. pp. 23–27. doi: 10.14412/1996–7012–2015–2–23–27 (in Russian).
- 5 Molchanova E.N., Berdimuratova M. Breeding systems: I. Types, properties, quality. Proceedings of VSUET. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 87–98. doi: 10.20914/2310–1202–2023–1–87–98 (in Russian).
- 6 Naumenko E.A., Anokhina O.N., Titova I.M. Gluten-free breadings and their influence on changes in the physical and chemical parameters of semi-finished fish products during refrigerated storage. Izvestia KSTU. 2015. no. 36. pp. 73–82. (in Russian).
- 7 Albert A., Perez-Munuera I., Quiles A., Salvador A. et al. Adhesion in fried battered nuggets: Performance of different hydrocolloids as prebatters using three cooking procedures. Food hydrocolloids. 2009. vol. 23. no. 5. pp. 1443–1448. doi: 10.1016/j.foodhyd.2008.11.015
- 8 Altunakar B., Sahin S., Sumnu G. Effects of hydrocolloids on apparent viscosity of batters and quality of chicken nuggets. Chemical Engineering Communications. 2006. vol. 193. no. 6. pp. 675–682. doi: 10.1080/00986440500194069
- 9 Amboon W., Tulyathan V., Tattiyakul J. Effect of hydroxypropyl methylcellulose on rheological properties, coating pickup, and oil content of rice flour-based batters. Food and bioprocess technology. 2012. vol. 5. no. 2. pp. 601–608. doi: 10.1007/s11947–010–0327–3
- 10 Aranibar C., Pigni N.B., Martinez M. et al. Utilization of a partially-deoiled chia flour to improve the nutritional and antioxidant properties of wheat pasta. LWT. 2018. vol. 89. pp. 381–387. doi: 10.1016/j.lwt.2017.11.003
- 11 Asha M.R., Susheelamma N.S., Guha M. Rheological properties of black gram (*Phaseolus mungo*) batter: characterisation of flour from native and modified rice and their effect on batter viscosity. International Journal of Food Science & Technology. 2007. vol. 42. no. 6. pp. 669–677. doi: 10.1111/j. 1365–2621.2006.01459.x
- 12 Asokapandian S., Swamy G.J., Hajjul H. Deep fat frying of foods: A critical review on process and product parameters. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2019 vol. 60. no. 20. pp. 3400–3413. doi: 10.1080/10408398.2019.1688761
- 13 Ateş E., Unal K. The effects of deep-frying, microwave, oven and sous vide cooking on the acrylamide formation of gluten-free chicken nuggets. International journal of gastronomy and food science. 2023. vol. 31. pp. 100666. doi: 10.1016/j.ijgfs.2023.100666
- 14 Cengiz E., Dogan M. Effect of corn starch–hydrocolloid interactions on the rheological properties of coating batters. Journal of food processing and preservation. 2021. vol. 45. no. 3. doi: 10.1111/jfpp.15250
- 15 Chang C., Wu G., Zhang H., Jin Q. et al. Deep-fried flavor: characteristics, formation mechanisms, and influencing factors. Critical reviews in food science and nutrition. 2019. vol. 60. no. 9 pp. 1496–1514. doi: 10.1080/10408398.2019.1575792
- 16 Chen H.H., Kang H.Y., Chen S.D. The effects of ingredients and water content on the rheological properties of batters and physical properties of crusts in fried foods. Journal of food engineering. 2008. vol. 88. no. 1. pp. 45–54. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.01.017
- 17 Chen R.Y., Wang Y., Dyson D. Breadings-what they are and how they are used. Batters and breadings in food processing. 2011. pp. 169–184. doi: 10.1016/b978–1–891127–71–7.50015–2
- 18 Cui L., Chen J., Zhai J., Peng L. et al. Oil penetration of batter-breaded fish nuggets during deep-fat frying: effect of frying oils. Foods. 2022. vol. 11. no. 21. pp. 3369. doi: 10.3390/foods11213369
- 19 Cui L., Chen J., Zhai J., Peng L., Xiong Y.L. Hydrocolloids-aided control of oil penetration and distribution in deep-fried breaded fish nuggets. Food hydrocolloids. 2023. vol. 145. pp. 109028. doi: 10.1016/j.foodhyd.2023.109028
- 20 Davarcioglu E.S., Kolsarici N. Effects of innovative gluten-free coatings on quality, sensory and microbial properties of chicken nuggets. Italian journal of food science. 2019. vol. 31. no. 2. doi:10.14674/IJFS-1401
- 21 Devatkal S.K., Kadam D.M., Naik P.K., Sahoo J. Quality characteristics of gluten-free chicken nuggets extended with sorghum flour. Journal of food quality. 2011 vol. 34. no. 2. pp. 88–92. doi: 10.1111/j. 1745–4557.2010.00367.x
- 22 Dogan S.F., Sahin S., Sumnu G. Effects of batters containing different protein types on the quality of deep-fat-fried chicken nuggets. European food research and technology. 2004. vol. 220. no. 5–6. pp. 502–508. doi: 10.1007/s00217–004–1099–7
- 23 El Khoury D., Balfour-Ducharme S., Joye I.J. A review on the gluten-free diet: technological and nutritional challenges. Nutrients. 2018. vol. 10. no. 10. pp. 1410. doi: 10.3390/nu10101410
- 24 Gasparre N., Rosell C.M. Role of hydrocolloids in gluten free noodles made with tiger nut flour as non-conventional powder. Food hydrocolloids. 2019. vol. 97. pp. 105194. doi: 10.1016/j.foodhyd.2019.105194
- 25 Ishaq A., Nadeem M., Ahmad R., Ahmed Z. et al. Recent advances in applications of marine hydrocolloids for improving bread quality. Food hydrocolloids. 2024. vol. 148. pp. 109424. doi: 10.1016/j.foodhyd.2023.109424.
- 26 Irondi E.A., Imam Y.T., Ajani E.O., Alamu E.O. Natural and modified food hydrocolloids as gluten replacement in baked foods: functional benefits. Grain & oil science and technology 2023. vol. 6. no. 4. pp. 163–171. doi:10.1016/j.gaost.2023.10.001
- 28 Kraithong S., Theppawong A., Lee S., Huang R. Understanding of hydrocolloid functions for enhancing the physicochemical features of rice flour and noodles. Food Hydrocolloids. 2023. vol. 142. pp. 108821. doi: 10.1016/j.foodhyd.2023.108821
- 29 Lai W.H., Maskat M.Y. Effect of hydroxypropylmethyl cellulose (HPMC) coating on flavour, moisture and oil content in chicken nugget. Sains Malaysiana. 2018. vol. 47. no. 11. pp. 2699–2704. doi: 10.17576/jsm-2018–4711–13
- 30 Li X., Li J., Wang Y., Cao P. et al. Effects of frying oils' fatty acids profile on the formation of polar lipids components and their retention in French fries over deep-frying process. Food chemistry. 2017. vol. 237. pp. 98–105. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.05.100
- 31 Li J., Liu M., Qin G., Wu X. et al. Classification, gelation mechanism and applications of polysaccharide-based hydrocolloids in pasta products: A review. International journal of biological macromolecules. 2023. vol. 248. pp. 125956. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.125956

- 32 Mahmood K., Kamilah H., Shang P.L., Sulaiman S. et al. A review: Interaction of starch/non-starch hydrocolloid blending and the recent food applications. *Food bioscience*. 2017. vol. 19. pp. 110–120. doi: 10.1016/j.fbio.2017.05.006
- 33 Nanda C., Chattopadhyay K., Reddy R., Javith M.A. et al. Evaluation of different conventional breeding materials on functional quality attributes of battered and breaded fish cutlets. *Journal of aquatic food product technology*. 2020. vol. 29. no. 7. pp. 641–649. doi: 10.1080/10498850.2020.1786205
- 34 Prada M., Godinho C., Rodrigues D.L., Lopes C. et al. The impact of a gluten-free claim on the perceived healthfulness, calories, level of processing and expected taste of food products. *Food quality and preference*. 2019. vol. 73. pp. 284–287. doi: 10.1016/j.foodqual.2018.10.013
- 35 Pearlman M., Casey L. Who should be gluten-free? A review for the general practitioner. *Medical clinics of north america*. 2019. vol. 103. no. 1. pp. 89–99. doi: 10.1016/j.mcna.2018.08.011
- 36 Pinkaew P. Development of gluten-free batter from three Thai rice cultivars and its utilization for frozen battered chicken nugget. *Journal of food science and technology*. 2019. vol. 56. no. 8. pp. 3620–3626. doi: 10.1007/s13197-019-03791-w
- 37 Pirsä S., Hafezi K. Hydrocolloids: structure, preparation method and application in food industry. *Food chemistry*. 2023. vol. 399. pp. 133967. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.133967
- 38 Silva M.C.A. da, Leite J.S.F., Barreto B.G., Neves M. et al. The impact of innovative gluten-free coatings on the physicochemical, microbiological, and sensory characteristics of fish nuggets. *LWT*. 2021. vol. 137. pp. 110409. doi: 10.1016/j.lwt.2020.110409
- 39 Tamsen M., Shekarchizadeh H., Soltanizadeh N. Evaluation of wheat flour substitution with amaranth flour on chicken nugget properties. *LWT*. 2018. vol. 91. pp. 580–587.
- 40 Varela P., Fiszman S.M. Hydrocolloids in fried foods. A review. *Food hydrocoll.* 2011. vol. 25. no. 8. pp. 1801–1812. doi: 10.1016/j.foodhyd.2011.01.016
- 41 Wang X., McClements D.J., Xu Z., Meng M. et al. Recent advances in the optimization of the sensory attributes of fried foods: Appearance, flavor, and texture. *Trends in food science & technology*. 2023. vol. 138. pp. 297–309. doi: 10.1016/j.tifs.2023.06.012
- 42 Xue J., Ngadi M. Rheological properties of batter systems formulated using different flour combinations. *Journal of food engineering*. 2006. vol. 77. no. 2. pp. 334–341. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.06.039
- 43 Xue J., Ngadi M. Rheological properties of batter systems containing different combinations of flours and hydrocolloids. *Journal of the science of food and agriculture*. 2007. vol. 87. no. 7. pp. 1292–1300. doi: 10.1002/jsfa.2845
- 44 Xue J., Ngadi M. Effects of methylcellulose, xanthan gum and carboxymethylcellulose on thermal properties of batter systems formulated with different flour combinations. *Food hydrocolloids*. 2009. vol. 23. no. 2. pp. 86–95. doi: 10.1016/j.foodhyd.2008.01.002
- 45 Zhang Q., Saleh A.S.M., Chen J., Shen Q. Chemical alterations taken place during deep-fat frying based on certain reaction products: A review. *Chemistry and physics of lipids*. 2012. vol. 165. no. 6. pp. 662–681. doi: 10.1016/j.chemphyslip.2012.07.002
- 46 Zhou S., Hong Y., Gu Z., Cheng L. et al. Effect of heat-moisture treatment on the in vitro digestibility and physicochemical properties of starch-hydrocolloid complexes. *Food hydrocolloids*. 2020. vol. 104. pp. 105736. doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.105736

Сведения об авторах

Елена Н. Молчанова к.б.н., профессор, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Российский биотехнологический университет, Волоколамское ш, 11, г Москва, 125080, Россия, melena2004@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-0708-1694>

Марал Бердимуратова магистрант, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Российский биотехнологический университет, Волоколамское ш, 11, г Москва, 125080, Россия, maral.berdimuratova@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-4894-8621>

Иван Д. Сечков аспирант, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Российский биотехнологический университет, Волоколамское ш, 11, г Москва, 125080, Россия, sechkovi@gmail.com
 <https://orcid.org/0009-0006-0161-3564>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Elena N. Molchanova Cand. Sci. (Biochem.), professor, food industry, hotel business and service department, Russian Biotechnological University, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Avol., 19 Voronezh, 394036, Russia, melena2004@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-0708-1694>

Maral Berdimuratova master student, food industry, hotel business and service department, Russian Biotechnological University, Volokolamskoe highway, 11 Moscow, 125080, Russia, maral.berdimuratova@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-4894-8621>

Ivan D. Sechkov graduate students, food industry, hotel business and service department, Russian Biotechnological University, Volokolamskoe highway, 11 Moscow, 125080, Russia, sechkovi@gmail.com
 <https://orcid.org/0009-0006-0161-3564>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 17/01/2024	После редакции 05/02/2024	Принята в печать 21/02/2024
Received 17/01/2024	Accepted in revised 05/02/2024	Accepted 21/02/2024

Подбор оптимального состава затора из местного сырья для культивирования уксуснокислых бактерий в процессе производства яблочного уксуса

Светлана В. Жуковская	¹	zhu2165@yandex.ru	 0000-0002-2324-6340
Мария В. Бабаева	¹	m-babaeva@mail.ru	 0000-0003-2258-3828
Анастасия Е. Агафoshкина	¹	agafoshkina.nastya@mail.ru	 0009-0003-2172-7137
Дмитрий А. Воробьев	¹	dmitwor@mail.ru	 0000-0002-6160-6351
Софья И. Сахарова	¹	tzekur@gmail.com	 0009-0007-8383-5618
Алексей Н. Яковлев	²	vip.alex2702@mail.ru	 0000-0002-3246-6628

1 Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, д. 73, г. Москва, 109004, Россия

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

Аннотация. В соответствии с Государственной программой «Здоровое питание-здоровье нации», приоритетным направлением рассматриваемой области считается расширение ассортимента натуральных продуктов для потребителей, следящих за своим здоровьем. Яблочный уксус является одним из наиболее ценных продуктов, вырабатываемых из яблочного сока. В литературе представлены, в основном данные, касающиеся технологии производства уксуса и почти не затронуты вопросы, касающиеся отработки технологических параметров процесса. Цель работы – изучение влияния различных веществ на процесс уксуснокислой ферментации. В качестве сырья были использованы промышленные образцы яблочных материалов из сырья Центрального региона России. В ходе исследований использовали общепринятые физико-химические методы в энохимии. Статья посвящена комплексному исследованию влияния фенольных веществ, углеводов яблочного сока, лимонной кислоты, лимонной кислоты и двузамещенного фосфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, лимонной кислоты и однозамещенного фосфата калия (KH_2PO_4) , лимонной кислоты и сульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ на процесс уксуснокислой ферментации. В ходе исследования было установлено: увеличение фенольных веществ приводит к ингибированию процесса окисления; на выход уксусной кислоты влияет увеличение дозы вносимой лимонной кислоты с $0,25 \text{ г/дм}^3$ до 1 г/дм^3 , как отдельно, так и совместно с $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в дозировке $0,46 \text{ г/дм}^3$; добавление однозамещенного фосфорнокислого калия заметного положительного влияния на процесс биохимического окисления не оказывает; в качестве углеводного питания рекомендуется добавление 5% свежего яблочного сока. На основании проведенных исследований может быть разработана технологическая схема производства уксуса с предложенными нами технологическими параметрами процесса.

Ключевые слова: яблочный уксус, уксуснокислая ферментация, технологические параметры, яблочный сок, физико-химические показатели.

Selection of the optimal composition of mash from local raw materials for the cultivation of acetic acid bacteria in the production of apple cider vinegar

Svetlana V. Zhukovskaya	¹	zhu2165@yandex.ru	 0000-0002-2324-6340
Maria V. Babaeva	¹	m-babaeva@mail.ru	 0000-0003-2258-3828
Anastasia E. Agafoshkina	¹	agafoshkina.nastya@mail.ru	 0009-0003-2172-7137
Dmitry A. Vorobjov	¹	dmitwor@mail.ru	 0000-0002-6160-6351
Sofia I. Sakharova	¹	tzekur@gmail.com	 0009-0007-8383-5618
Aleksey N. Yakovlev	²	vip.alex2702@mail.ru	 0000-0002-3246-6628

1 K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (The First Cossack University) 73 Zemlyanoy Val street, Moscow, 109004, Russia

2 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Для цитирования

Жуковская С.В., Бабаева М.В., Агафoshкина А.Е., Воробьев Д.А., Сахарова С.И., Яковлев А.Н. Подбор оптимального состава затора из местного сырья для культивирования уксуснокислых бактерий в процессе производства яблочного уксуса // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 117–125. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-117-125

For citation

Zhukovskaya S.V., Babaeva M.V., Agafoshkina A.E., Vorobjov D.A., Sakharova S.I., Yakovlev A.N. Selection of the optimal composition of mash from local raw materials for the cultivation of acetic acid bacteria in the production of apple cider vinegar. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 117–125. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-117-125

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Abstract. In accordance with the State Program "Healthy Nutrition-Health of the Nation", the expansion of the range of natural products for health-conscious consumers is considered a priority in this area. Apple cider vinegar is one of the most valuable products produced from apple juice. The literature presents mainly data concerning the technology of vinegar production and almost no questions concerning the development of technological parameters of the process. The aim of the work is to study the influence of various substances on the process of vinegar fermentation. Industrial samples of apple materials from raw materials of the Central region of Russia were used as raw materials. In the course of research the generally accepted physical and chemical methods in enochemistry were used. The article is devoted to a complex study of the influence of phenolic substances, carbohydrates of apple juice, citric acid, citric acid and doubly substituted ammonium phosphate $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, citric acid and single-substituted potassium phosphate (KH_2PO_4) , citric acid and ammonium sulfate $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ on the process of acetic acid fermentation. In the course of the study it was found that: increase in phenolic substances leads to inhibition of the oxidation process; the yield of acetic acid is affected by increasing the dosage of introduced citric acid from 0.25 g/dm³ to 1 g/dm³, both separately and together with $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ at a dosage of 0.46 g/dm³; the addition of single-substituted potassium phosphoric acid has no noticeable positive effect on the biochemical oxidation process; the addition of 5% fresh apple juice is recommended as carbohydrate nutrition. On the basis of the conducted research can be developed technological scheme of vinegar production with our proposed technological parameters of the process.

Keywords: apple cider vinegar, acetic acid fermentation, technological parameters, apple juice, physicochemical parameters.

Введение

В соответствии с Государственной программой «Здоровое питание-здоровье нации», приоритетным направлением рассматриваемой области считается расширение ассортимента натуральных продуктов для потребителей, следящих за своим здоровьем. Разработка этой группы продуктов диктуется насущной потребностью современного рынка, необходимостью оптимизации питания и здоровья, имеет важное значение ввиду резко возросших под влиянием современных причин больших нагрузок на адаптационные способности организма человека [1]. Яблочный уксус является одним из наиболее ценных продуктов, вырабатываемых из яблочного сока. Яблочный уксус содержит в себе комплекс биологически активных веществ, полезных для здоровья человека [2]. Жизнедеятельность и окислительная способность уксуснокислых бактерий зависит от ряда факторов: содержание кислорода, исходной популяции, температуры, pH, содержания спирта, уксусной кислоты, микроэлементов, фенольных веществ, восстанавливающих сахаров, глицерина и других компонентов. В литературе представлены, в основном данные, касающиеся технологии производства уксуса и почти не затронуты вопросы, касающиеся отработки технологических параметров процесса. Имеются разноречивые данные по влиянию режимов аэрации, стартовых концентраций спирта и кислоты, парциального давления, концентрации посевной культуры уксуснокислых бактерий и др. [3–5, 7–21].

В результате определения фракционного состава азотистых, фенольных веществ и углеводов яблочных соков установлено, что химический состав яблочных соков зависит от способа переработки яблок и их сортовых особенностей. В результате определения фракционного состава азотистых, фенольных веществ и углеводов яблочных соков установлено, что химический состав яблочных соков зависит от способа переработки яблок и их сортовых особенностей.

В процессе уксуснокислой ферментации яблочных материалов наблюдается изменение азотистых и фенольных веществ. При этом углеводный состав практически не изменяется. При окислении яблочных материалов уксуснокислыми бактериями значительно интенсифицируются процессы альдегидообразования и эфиروобразования. Исследования, направленные на глубокое и всестороннее изучение факторов, обуславливающих эффективность процесса биохимического окисления, исследование динамики химического состава яблочных материалов в процессе уксуснокислой ферментации представляют несомненный интерес [6].

Из литературы известно, что на процесс культивирования уксуснокислых бактерий большое влияние оказывает химический состав исходного сырья для производства уксуса, а также отдельные компоненты, искусственно вводимые в культуральную жидкость для поддержания жизнедеятельности бактерий.

Цель работы – изучение влияния различных веществ на процесс уксуснокислой ферментации.

Материалы и методы

В качестве сырья были использованы промышленные образцы яблочных материалов из сырья Центрального региона России, энотанин (Продукция соответствует ТР ТС 021/2011, ТР ТС 022/2011, ТР ТС 029/2012), лимонная кислота (моногидрат) по ГОСТ 908–2004, двузамещенного фосфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (ч), по ГОСТ 37–72–74, однозамещенного фосфата калия (KH_2PO_4) (хч) по ГОСТ 4198–75. В ходе исследований физико-химические показатели определяли в соответствии с общепринятыми в энхимии методами.

Результаты и обсуждение

Предварительные исследования химического состава различных образцов яблочного уксуса показало, что на процесс уксуснокислого брожения оказывают влияние фенольные вещества [7].

В связи с этим представляло интерес изучить подробнее характер влияния фенольных соединений на процесс ферментации. Для опыта использовали раствор энотанина с содержанием фенольных веществ 9 г/дм³.

В один и тот же материал со стартовыми концентрациями по спирту и кислоте соответственно 1,7% об х 5,7% добавляли различное количество раствора энотанина. Выбор стартовой концентрации соответствовал рекомендациям по приготовлению культуральной смеси. Процесс

уксуснокислой ферментации во всех образцах проводили до остаточного содержания спирта 0,3–0,5% об. Результаты опыта представлены в таблице 1.

Установлено, что с увеличением количества вносимого энотанина от 0 до 54 мг/дм³ длительность процесса уксуснокислой ферментации увеличивалась почти в 2 раза. Вполне очевидно, что более высокие дозы фенольных веществ еще значительно тормозят процесс уксуснокислого брожения.

Таблица 1.

Влияние фенольных веществ на процесс уксуснокислой ферментации

Table 1.

The effect of phenolic substances on the process of acetic acid fermentation

Показатель Indicator	Исходный виноматериал The original wine material	Время ферментации, сут Fermentation time, day											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
I – контроль I - control													
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,7	1,7	1,0	0,5									
Титруемая кислотность в пересчете на уксусную, г/100 см ³ Titratable acidity in terms of acetic acid, g/100 cm ³	5,7	5,7	6,1	6,5									
Фенольные вещества, мг/дм ³ Phenolic substances, mg/dm ³	218,0	218,0	180,0										
II – контроль = 27 мг/дм ³ фенольных веществ II - control = 27 mg/dm ³ of phenolic substances													
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,7	1,7	1,5	1,1	0,9	0,7	0,5	0,4	0,3				
Титруемая кислотность в пересчете на уксусную, г/100 см ³ Titratable acidity in terms of acetic acid, g/100 cm ³	5,7	5,7	5,8	5,9	6,0	6,1	6,2	6,3	6,4				
Фенольные вещества, мг/дм ³ Phenolic substances, mg/dm ³	246,3	246,3							216,7				
III – контроль = 54 мг/дм ³ фенольных веществ III - control = 54 mg/dm ³ of phenolic substances													
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,7	1,7	1,6	1,5	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,4	0,3	
Титруемая кислотность в пересчете на уксусную, г/100 см ³ Titratable acidity in terms of acetic acid, g/100 cm ³	5,7	5,7	5,8	5,9	5,9	6,0	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	
Фенольные вещества, мг/дм ³ Phenolic substances, mg/dm ³	269,8	269,8											

Таблица 2.

Влияние яблочного сока на процесс уксуснокислой ферментации

Table 2.

The effect of apple juice on the process of acetic acid fermentation

Показатель Indicator	Исходный виноматериал The original wine material	Время ферментации, сут Fermentation time, day			
		1	2	3	4
I образец – контроль I - control					
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,5	-	0,3		
Титруемая Titratable acidity	5,5	4,9	6,2		
II образец – контроль + 1,7% свежего яблочного сока II sample - control + 1.7% fresh apple juice					
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,5	-	0,2		
Титруемая Titratable acidity	5,5	4,8	6,3		
III образец – контроль + 5,0% яблочного сока III sample - control + 5.0% apple juice					
Остаточный спирт, % об. Residual alcohol, % vol	1,5	-	0,1		
Титруемая Titratable acidity	5,5	4,5	6,5		
IV образец – контроль + 16,7% яблочного сока IV sample - control + 16.7% apple juice					
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,5	-	0,4	0,3	
Титруемая Titratable acidity	5,5	4,2	4,3	6,5	

Таблица 3.

Влияние концентрации лимонной кислоты на процесс уксуснокислой ферментации

Table 3.

The effect of citric acid concentration on the acetic acid fermentation process

Показатель Indicator	Исходный виноматериал The original wine material	Время ферментации, сутки Fermentation time, day	
		1	2
I образец – контроль I - control			
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,5	-	0,5
Титруемая Titratable acidity	5,5	-	6,0
II образец – контроль + 0,25 г/дм ³ лимонной кислоты II sample - control + 0.25 g/dm ³ citric acid			
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,6	-	0,5
Титруемая Titratable acidity	5,5	-	6,0
III образец – контроль + 0,5 г/дм ³ лимонной кислоты III sample - control + 0.5 g/dm ³ citric acid			
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,6	-	0,4
Титруемая Titratable acidity	5,5	-	6,1
IV образец – контроль + 1 г/дм ³ лимонной кислоты IV sample - control + 1 g/dm ³ citric acid			
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,6	-	0,3
Титруемая Titratable acidity	5,5	-	6,8
V образец – контроль + 2 г/дм ³ лимонной кислоты V sample - control + 2 g/dm ³ citric acid			
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,6	-	0,5
Титруемая Titratable acidity	5,5	-	6,4

Таблица 4.

Влияние концентрации лимонной кислоты и двузамещенного фосфата аммония (NH₄)₂ HPO₄ на процесс уксуснокислой ферментации

Table 4.

The effect of the concentration of citric acid and disubstituted ammonium phosphate (NH₄)₂ HPO₄ on the acetic acid fermentation process

Показатель Indicator		Исходный виноматериал The original wine material	Время ферментации, сут Fermentation time, day			
			1	2	3	4
I образец – контроль I - control						
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol		1,6	-	0,3		
Титруемая Titratable acidity		5,5	5,1	6,0		
II образец – контроль + (NH ₄) ₂ HPO ₄ 0,5 г/дм ³ II sample - control + (NH ₄) ₂ NPO ₄ 0.5 g/dm ³						
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol		1,6	0,8	0,2		
Титруемая Titratable acidity		5,5	4,5	4,8	6,2	
III образец – контроль + лимонная кислота 0,5 г/ дм ³ + (NH ₄) ₂ HPO ₄ 0,5 г/дм ³ III sample - control + citric acid 0.5 g/dm ³ + (NN ₄) ₂ NPO ₄ 0.5 g/dm ³						
Остаточный спирт, % об. Residual alcohol, % vol		1,6		1,0	0,6	0,12
Титруемая Titratable acidity		5,5	5,8	6,0	6,2	6,5
IV образец – контроль + лимонная кислота 1,0 г/ дм ³ + (NH ₄) ₂ HPO ₄ 0,5 г/дм ³ IV sample - control + citric acid 1.0 g/dm ³ + (NN ₄) ₂ NPO ₄ 0.5 g/dm ³						
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol		1,6	0,5	0,12		
Титруемая Titratable acidity		5,5	4,9	6,9		

Таблица 5.

Влияние концентрации лимонной кислоты и однозамещенного фосфата калия (KH₂ PO₄) на процесс уксуснокислой ферментации

Table 5.

The effect of the concentration of citric acid and monosubstituted potassium phosphate (KH₂ PO₄) on the process of acetic acid fermentation

Показатель Indicator		Исходный виноматериал The original wine material	Время ферментации, сут Fermentation time, day				
			1	2	3	4	5
I образец – контроль I - control							
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol		1,6	-	0,2			
Титруемая Titratable acidity		5,5	5,8	6,2			
II образец – контроль + KH ₂ PO ₄ 0,5 г/дм ³ II sample - control + CH ₂ RO ₄ 0.5 g/dm ³							
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol		1,6	-	1,3	1,0	-	0,6
Титруемая Titratable acidity		5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	6,0
III образец – контроль + лимонная кислота 0,5 г/ дм ³ + KH ₂ PO ₄ 0,5 г/дм ³ III sample - control + citric acid 0.5 g/dm ³ + KN ₂ RO ₄ 0.5 g/dm ³							
Остаточный спирт, % об. Residual alcohol, % vol		1,6	-	1,3	0,8		0,4
Титруемая Titratable acidity		5,5	5,6	5,8	5,8	5,9	6,0
IV образец – контроль + лимонная кислота 1,0 г/ дм ³ + KH ₂ PO ₄ 0,5 г/дм ³ IV sample - control + citric acid 1.0 g/dm ³ + KN ₂ RO ₄ 0.5 g/dm ³							
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol		1,6		0,2			
Титруемая Titratable acidity		5,5	4,7		6,4		

Таблица 6.

Влияние концентрации лимонной кислоты и сульфата аммония на процесс уксуснокислой ферментации

Table 6.

The effect of the concentration of citric acid and ammonium sulfate on the process of acetic acid fermentation

Показатель Indicator	Исходный виноматериал The original wine material	Время ферментации, сутки Fermentation time, day	
		1	2
I образец – контроль I sample - control			
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,5	-	0,3
Титруемая Titratable acidity	5,6	6,1	6,2
Степень окисления, число частей на м Degree of oxidation, parts per million	452		388
Аминный азот, мг/дм ³ Amine nitrogen, mg/dm ³	114,8		123,2
Фосфор, мг/дм ³ Phosphorus, mg/dm ³	17		23
II образец – контроль + (NH ₄) ₂ SO ₄ II sample - control + (NH ₄) ₂ SO ₄			
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,5	-	0,11
Титруемая Titratable acidity	5,6	6,1	6,2
Степень окисления, число частей на миллион Degree of oxidation, parts per million	664		156
Аминный азот, мг/дм ³ Amine nitrogen, mg/dm ³	126	93,5	47,6
Фосфор, мг/дм ³ Phosphorus, mg/dm ³	50		17
III образец – контроль + 0,5 г/дм ³ лимонной кислоты + (NH ₄) ₂ SO ₄ III sample - control + 0.5 g/dm ³ citric acid + (NH ₄) ₂ SO ₄			
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,5	-	0,1
Титруемая Titratable acidity	5,6	5,8	6,3
Степень окисления, число частей на миллион Degree of oxidation, parts per million	304		260
Аминный азот, мг/дм ³ Amine nitrogen, mg/dm ³	145,6		2,8
Фосфор, мг/дм ³ Phosphorus, mg/dm ³	29		28
IV образец – контроль + 1 г/дм ³ лимонной кислоты + (NH ₄) ₂ SO ₄ IV sample - control + 1 g/dm ³ citric acid + (NH ₄) ₂ SO ₄			
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,5	-	0,10
Титруемая Titratable acidity	5,6	6,2	6,5
Степень окисления, число частей на миллион Degree of oxidation, parts per million	544		260
Аминный азот, мг/дм ³ Amine nitrogen, mg/dm ³	111		58,8
Фосфор, мг/дм ³ Phosphorus, mg/dm ³	17		27

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что фенольные вещества обладают бактерицидным действием и оказывают ингибирующее влияние на скорость биохимического окисления яблочных материалов.

Известно, что некоторые виды уксуснокислых бактерий при ферментации в качестве питания могут потреблять глюкозу.

Исследовали влияние углеводов яблочного сока на процесс биохимического окисления путем внесения в культуральную смесь от 2 до 15% свежего яблочного сока. Данные анализов представлены в таблице 2

Из данных таблицы видно, что наиболее интенсивно процесс биохимического окисления этанола в уксусную кислоту происходил в третьем образце. Содержание остаточного спирта в нем составило 0,1%, а концентрация уксусной кислоты – 6,5%, т. е. уксус, полученный из образца № 3, имел лучшие показатели состава даже по сравнению с контролем (0,3% об – этиловый спирт, 6,2% – уксусная кислота). Вероятно, что при наличии сока, уксуснокислые бактерии получают дополнительно различное количество органических и минеральных веществ, необходимых для размножения, питания уксуснокислых бактерий и окисления этанола в уксусную кислоту, поэтому процесс уксуснокислой ферментации интенсифицируется.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют, что добавление свежего яблочного сока в культуральную среду оказывает благоприятное воздействие на процесс уксуснокислого брожения. Оптимальной дозой яблочного сока следует считать 5% Известно, что яблочный виноматериал имеет в своем составе много кислот, содержание которых колеблется в различных пределах в зависимости от сорта и степени зрелости яблок. Известно, что количество лимонной кислоты в яблоках увеличивается при созревании и, ее содержание может варьировать в зависимости от степени зрелости плодов.

Исследовали влияние концентрации лимонной кислоты на процесс уксуснокислой ферментации. Готовили культуральную смесь с содержанием уксусной кислоты 5,5% и спирта 1,5% об. Приготовленную смесь делили на пять частей. Одну использовали в качестве контроля, в четыре – добавляли разное количество лимонной кислоты. Далее проводили биохимическое окисление полученных образцов.

Результаты исследований представлены в таблице 3. Из полученных данных видно, что наличие лимонной кислоты в культуральной среде по-разному влияет на ход уксуснокислого брожения.

С увеличением дозы вносимой лимонной кислотой с 0,25 г/дм³ до 1 г/дм³ выход уксусной кислоты увеличивается. Дальнейшее повышение

лимонной кислоты приводило к снижению выхода уксуса. Так добавление 0,25 г/дм³ и 0,5 г/дм³ лимонной кислоты приводило к накоплению 6,0–6,1% уксусной кислоты, т. е. находилось на уровне контроля. Внесение 1 г/дм³ лимонной кислоты значительно повышало выход уксуса до 6,8%, при содержании остаточного спирта 0,3% об. Увеличение содержания лимонной кислоты до 2 г/дм³ несколько снижало выход уксусной кислоты до 6,4%. Положительное влияние лимонной кислоты в дозе именно 1 г/дм³ или близкой к ней объясняется изменением рН среды, в которую вносится кислота. Добавление 1 г/дм³ лимонной кислоты в яблочные материалы приводило к снижению рН среды с 3,1–3,5 до 2,5–3,0, что благоприятно сказывается на деятельности уксуснокислых бактерий. Внесение дозы лимонной кислоты <1 г/дм³ не оказывало значительного влияния на процесс, так как мало изменяло значение рН. В то же время значительное снижение рН при внесении лимонной кислоты в дозе $\approx$ 2 г/дм³ и выше оказывало тормозящее действие на жизнедеятельность уксуснокислых бактерий.

Результаты данного опыта свидетельствуют о необходимости корректировки рН культуральной среды добавлением в нее определенного количества лимонной кислоты, которое в среднем должна составить 1 г/дм³ с отклонением в ту или другую сторону в зависимости от состава перерабатываемого сырья (степени зрелости яблок, сорта и др.). Исследовали совместное влияние лимонной кислоты и $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ на процесс уксуснокислой ферментации.

В опытные образцы вносили двузамещенный фосфорнокислый аммоний в количестве г/дм³ и лимонную кислоту 0,5–1,0 г/дм³.

Результаты исследований представлены в таблице 4.

Окисление этилового спирта в контрольном образце заканчивалось на 2-ой день, при этом содержание уксусной кислоты составляло 6,0%, а остаточного спирта – 0,3% об. Внесение 0,5 г/дм³ двузамещенного фосфорнокислого аммония как отдельно, так и совместно с 0,5 г/дм³ лимонной кислоты приводило к увеличению выхода уксусной кислоты до 6,0–6,5%, однако срок окисления при этом увеличивался. Добавление 0,5 г/дм³ двузамещенного фосфорнокислого аммония совместно с 1 г/дм³ лимонной кислоты значительно увеличивало выход уксусной кислоты по сравнению с контролем (6,9%). Известно, что добавление в среду однозамещенного фосфата калия из расчета 0,50 г/дм³ при уксуснокислой ферментации положительно влияет на процесс окисления. Исследовали влияние концентрации лимонной кислоты и однозамещенного фосфата калия на процесс уксуснокислого брожения.

В опытные образцы вносили 0,50 г/дм³ однозамещенного фосфата калия и лимонную кислоту в количестве 0,5–1,0 г/дм³. Результаты исследования представлены в таблице 5.

В контрольном образце процесс окисления спирта в уксусную кислоту был завершен на второй день ферментации. Во втором и третьем образцах процесс ферментации не был завершен на пятые сутки (остаточный спирт во втором образце – 0,6% об, в третьем – 0,4% об). Следовательно, можно предположить, что действие однозамещенного фосфата калия, как отдельно, так и совместно с лимонной кислотой (0,5 г/дм³) замедляет процесс уксуснокислой ферментации.

В четвертом образце с содержанием лимонной кислоты 1,0 г/дм³ и KH_2PO_4 0,5 г/дм³ накопление уксусной кислоты и содержание остаточного спирта приближается к контролю.

Следовательно, можно заключить, что наличие в культуральной среде KH_2PO_4 и совместное его действие с лимонной кислотой не оказывает существенного влияния на накопление уксусной кислоты. Однако внесение лимонной кислоты в количестве 1 г/дм³ вместе с 0,5 г/дм³ KH_2PO_4 способствует усвоению фосфора уксуснокислыми бактериями.

Из литературных данных известно, что сульфат аммония в количестве 0,46 г/дм³ оказывает положительное влияние на ход уксуснокислого брожения. Исследовали совместное влияние лимонной кислоты и сульфата аммония на процесс уксуснокислой ферментации.

В опытные образцы добавляли 0,46 г/дм³ сульфата аммония и лимонную кислоту в количестве 0,5–1 г/дм³.

Полученные результаты исследований представлены в таблице 6.

Из данных таблицы видно, что процесс уксуснокислого брожения во всех четырех образцах был завершен на второй день ферментации.

Анализ содержания остаточного спирта показал, что во втором, третьем и четвертом образцах процесс уксуснокислой ферментации идет интенсивнее, чем в контроле (остаточный спирт в образцах – 0,10–0,11% об, в контроле – 0,3% об). Одновременно увеличивался выход уксусной кислоты.

Наиболее эффективно процесс уксуснокислой ферментации проходил в четвертом образце, где в состав ферментационной среды входили 1 г/дм³ лимонной кислоты и 0,46 г/дм³ сульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (6,5% – в четвертом образце, 6,2% – в контроле).

Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать следующие основные выводы:

– на процесс уксуснокислого брожения оказывают влияние фенольные вещества яблок,

причем увеличение содержания фенольных веществ приводит к ингибированию процесса окисления;

– в качестве углеводного питания рекомендуется добавление 5% свежего яблочного сока;

– наличие лимонной кислоты в культуральной среде по-разному влияет на ход уксуснокислого брожения, с увеличением дозы вносимой лимонной кислотой с 0,25 г/дм³ до 1 г/дм³ выход уксусной кислоты увеличивается, дальнейшее повышение лимонной кислоты приводит к снижению выхода уксуса;

– добавление двузамещенного фосфорнокислого аммония совместно с лимонной кислотой значительно увеличивает выход уксусной кислоты по сравнению с контролем;

– наиболее эффективно процесс биохимического окисления протекает при внесении 0,46 г/дм³ (NH₄)₂SO₄, 1 г/дм³ лимонной кислоты как отдельно, так и совместно с (NH₄)₂SO₄;

– добавление однозамещенного фосфорнокислого калия заметного положительного влияния на процесс биохимического окисления не оказывает.

Мы считаем, что на основании проведенных исследований может быть разработана технологическая схема производства уксуса с предложенными нами технологическими параметрами процесса.

Благодарность

Авторы выражают благодарность Воронежскому Государственному Университету Инженерных Технологий за сотрудничество.

Литература

- 1 Бабаева М.В., Жуковская С.В., Казарцев Д.А., Жиров В.М. и др. Инновационные безалкогольные напитки из натурального растительного сырья // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 1. С. 118–124. doi:10.20914/2310-1202-2022-1-118-124
- 2 Гончаровская И.В., Левон В.Ф. Содержание некоторых биологически активных веществ в яблочном уксусе с разных плодов *Malus Domestica Borkh* // От растения до лекарственного препарата. 2020. С. 217–222.
- 3 Оганесянц Л.А., Панасюк А.Л., Рейтблат Б.Б. Теория и практика плодового виноделия. М.: Промышленно-консалтинговая группа «Развитие» по заказу ГНУ ВНИИ пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности, 2011.
- 4 Кандыбина А.В., Звягинцева М.Г., Комаров А.В., Россихин В.В. Яблочный уксус: приготовление и биологически активные вещества // News of Science and Education. 2017. Т. 3. № 9. С. 026–028.
- 5 Еременко А.С., Синилова Ю.К., Голуб О.В. Оценка качественных характеристик яблочного уксуса // Оценка качества и безопасность потребительских товаров. 2020. С. 49–53
- 6 Жуковская С.В., Бабаева М.В., Казарцев Д.А., Жиров В.М. и др. Исследование динамики химического состава сброженных яблочных соков в процессе уксуснокислой ферментации // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 24–31. doi: 10.20914/2310-1202-2022-4-24-31
- 7 Шумская Н.Н., Ломакина С.А., Сердюк В.А., Мальцева Т.А. и др. Органолептический и сравнительный анализ яблочного и яблочно-грушевого уксусов // Инновационные технологии в науке и образовании (конференция «ИТНО 2020»). 2020. С. 504-507.
- 8 Панасюк А.Л., Кузьмина Е.И., Борисова А.Л. Новое направление в производстве пищевого уксуса // Пищевая промышленность. 2017. № 7. С. 58–60.
- 9 Carballo D., Fernández-Franzón M., Ferrer E., Pallarés N. et al. Dietary Exposure to Mycotoxins through Alcoholic and Non-Alcoholic Beverages in Valencia, Spain // Toxins. 2021. V. 13. № 7. P. 438. doi: 10.3390/toxins13070438
- 10 Rodríguez-Ramos R., Socas-Rodríguez B., Santana-Mayor Á., Rodríguez-Delgado M.Á. A simple, fast and easy methodology for the monitoring of plastic migrants in alcoholic and non-alcoholic beverages using the QuEChERS method prior to gas chromatography tandem mass spectrometry // Analytical and bioanalytical chemistry. 2020. V. 412. № 7. P. 1551-1561. doi:10.1007/s00216-019-02382-0
- 11 Rascón A.J., Azzouz A., Ballesteros E. Use of semi-automated continuous solid-phase extraction and gas chromatography–mass spectrometry for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in alcoholic and non-alcoholic drinks from Andalucía (Spain) // Journal of the science of food and agriculture. 2019. V. 99. № 3. P. 1117-1125. doi: 10.1002/jsfa.9279
- 12 Jia M., Joyce J.D., Bertke A.S. SARS-CoV-2 survival in common non-alcoholic and alcoholic beverages // Foods. 2022. V. 11. № 6. P. 802. doi: 10.3390/foods11060802
- 13 Yabaci Karaoglan S., Jung R., Gauthier M., Kincl T. et al. Maltose-Negative Yeast in Non-Alcoholic and Low-Alcoholic Beer Production // Fermentation. 2022. V. 8. № 6. P. 273. doi: 10.3390/fermentation8060273
- 14 Salană L.C., Coldea T.E., Ignat M.V., Pop C.R. et al. Non-alcoholic and craft beer production and challenges // Processes. 2020. V. 8. № 11. P. 1382. doi: 10.3390/pr8111382
- 15 Rezaei H., Moazzen M., Shariatifar N., Khaniki G.J. et al. Measurement of phthalate acid esters in non-alcoholic malt beverages by MSPE-GC/MS method in Tehran city: chemometrics // Environmental Science and Pollution Research. 2021. V. 28. № 37. P. 51897-51907. doi: 10.1007/s11356-021-14290-x
- 16 Baschali A., Tsakalidou E., Kyriacou A., Karavasiloglou N. et al. Traditional low-alcoholic and non-alcoholic fermented beverages consumed in European countries: A neglected food group // Nutrition research reviews. 2017. V. 30. № 1. P. 1-24.
- 17 Castro-Muñoz R. Membrane technologies for the production of nonalcoholic drinks // Trends in non-alcoholic beverages. 2020. P. 141-165. doi: 10.1016/B978-0-12-816938-4.00005-7

18 Lavefve L., Marasini D., Carbonero F. Microbial ecology of fermented vegetables and non-alcoholic drinks and current knowledge on their impact on human health // *Advances in food and nutrition research*. 2019. V. 87. P. 147-185. doi: 10.1016/bs.afnr.2018.09.001

19 Díaz-Ufano M.L.L. Consumption estimation of non alcoholic beverages, sodium, food supplements and oil // *Nutrición Hospitalaria*. 2015. V. 31. №. 3. P. 70-75.

20 Suter R., Miller C., Gill T., Coveney J. The bitter and the sweet: a cultural comparison of non-alcoholic beverage consumption in Japan and Australia // *Food, Culture & Society*. 2020. V. 23. №. 3. P. 334-346. doi: 10.1080/15528014.2019.1679548

21 Bellut K., Michel M., Zarnkow M., Hutzler M. et al. Screening and application of *Cyberlindnera* yeasts to produce a fruity, non-alcoholic beer // *Fermentation*. 2019. V. 5. №. 4. P. 103. doi: 10.3390/fermentation5040103

References

1 Babaeva M.V., Zhukovskaya S.V., Kazartsev D.A., Zhirov V.M. et al. Innovative soft beverages made from natural vegetable raw materials. *Proceedings of VSUET*. 2022. vol. 84. no. 1. pp. 118–124. doi: 10.20914/2310-1202-2022-1-118-124 (in Russian).

2 Goncharovskaya I.V., Levon V.F. The content of some biologically active substances in apple cider vinegar from different fruits of *Malus Domestica* Borkh. From a plant to a medicinal product. 2020. pp. 217–222. (in Russian).

3 Oganesyants L.A., Panasyuk A.L., Reitlat B.B. Theory and practice of fruit winemaking. M., Industrial consulting group "Development" commissioned by the GNU Research Institute of Brewing, Non-alcoholic and Wine industry, 2011. (in Russian).

4 Kandybina A.V., Zvyagintseva M.G., Komarov A.V., Rossikhin V.V. Apple cider vinegar: preparation and biologically active substances. *News of Science and Education*. 2017. vol. 3. no. 9. pp. 026–028. (in Russian).

5 Eremenko A.S., Sinilova Yu. K., Golub O.V. Assessment of the qualitative characteristics of apple cider vinegar. Assessment of the quality and safety of consumer goods. 2020. pp. 49–53. (in Russian).

6 Zhukovskaya S.V., Babaeva M.V., Kazartsev D.A., Zhirov V.M. et al. Investigation of the dynamics of the chemical composition of fermented apple juices in the process of acetic acid fermentation. *Proceedings of VSUET*. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 24–31. doi: 10.20914/2310-1202-2022-4-24-31 (in Russian).

7 Shumskaya N.N., Lomakina S.A., Serdyuk V.A., Maltseva T.A. et al. Organoleptic and comparative analysis of apple and apple-pear vinegar. *Innovative technologies in science and education (conference "ITNO 2020")*. 2020. pp. 504-507. (in Russian).

8 Panasyuk A.L., Kuzmina E.I., Borisova A.L. A new direction in the production of food vinegar. *Food Industry*. 2017. no. 7. pp. 58–60. (in Russian).

9 Carballo D., Fernández-Franzón M., Ferrer E., Pallarés N. et al. Dietary Exposure to Mycotoxins through Alcoholic and Non-Alcoholic Beverages in Valencia, Spain. *Toxins*. 2021. vol. 13. no. 7. pp. 438. doi: 10.3390/toxins13070438

11 Rodríguez-Ramos R., Socas-Rodríguez B., Santana-Mayor Á., Rodríguez-Delgado M.Á. A simple, fast and easy methodology for the monitoring of plastic migrants in alcoholic and non-alcoholic beverages using the QuEChERS method prior to gas chromatography tandem mass spectrometry. *Analytical and bioanalytical chemistry*. 2020. vol. 412. no. 7. pp. 1551-1561. doi:10.1007/s00216-019-02382-0

12 Rascón A.J., Azzouz A., Ballesteros E. Use of semi-automated continuous solid-phase extraction and gas chromatography–mass spectrometry for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in alcoholic and non-alcoholic drinks from Andalucía (Spain). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2019. vol. 99. no. 3. pp. 1117-1125. doi: 10.1002/jsfa.9279

13 Jia M., Joyce J.D., Bertke A.S. SARS-CoV-2 survival in common non-alcoholic and alcoholic beverages. *Foods*. 2022. vol. 11. no. 6. pp. 802. doi: 10.3390/foods11060802

14 Yabaci Karoglan S., Jung R., Gauthier M., Kinčl T. et al. Maltose-Negative Yeast in Non-Alcoholic and Low-Alcoholic Beer Production. *Fermentation*. 2022. vol. 8. no. 6. pp. 273. doi: 10.3390/fermentation8060273

15 Salană L.C., Coldea T.E., Ignat M.V., Pop C.R. et al. Non-alcoholic and craft beer production and challenges. *Processes*. 2020. vol. 8. no. 11. pp. 1382. doi: 10.3390/pr8111382

16 Rezaei H., Moazzen M., Shariatifar N., Khaniki G.J. et al. Measurement of phthalate acid esters in non-alcoholic malt beverages by MSPE-GC/MS method in Tehran city: chemometrics. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. vol. 28. no. 37. pp. 51897-51907. doi: 10.1007/s11356-021-14290-x

17 Baschali A., Tsakalidou E., Kyriacou A., Karavasiloglou N. et al. Traditional low-alcoholic and non-alcoholic fermented beverages consumed in European countries: A neglected food group. *Nutrition Research Reviews*. 2017. vol. 30. no. 1. pp. 1-24.

18 Castro-Muñoz R. Membrane technologies for the production of nonalcoholic drinks. *Trends in non-alcoholic beverages*. 2020. pp. 141-165. doi: 10.1016/B978-0-12-816938-4.00005-7

19 Lavefve L., Marasini D., Carbonero F. Microbial ecology of fermented vegetables and non-alcoholic drinks and current knowledge on their impact on human health. *Advances in food and nutrition research*. 2019. vol. 87. pp. 147-185. doi: 10.1016/bs.afnr.2018.09.001

20 Díaz-Ufano M.L.L. Consumption estimation of non alcoholic beverages, sodium, food supplements and oil. *Nutrición Hospitalaria*. 2015. vol. 31. no. 3. pp. 70-75.

21 Suter R., Miller C., Gill T., Coveney J. The bitter and the sweet: a cultural comparison of non-alcoholic beverage consumption in Japan and Australia. *Food, Culture & Society*. 2020. vol. 23. no. 3. pp. 334-346. doi: 10.1080/15528014.2019.1679548

22 Bellut K., Michel M., Zarnkow M., Hutzler M. et al. Screening and application of *Cyberlindnera* yeasts to produce a fruity, non-alcoholic beer. *Fermentation*. 2019. vol. 5. no. 4. pp. 103. doi: 10.3390/fermentation5040103

Сведения об авторах

Светлана В. Жуковская к.т.н., доцент, кафедра технологии броидильных производств и виноделия им. Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, zhu2165@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2324-6340>

Мария В. Бабаева к.т.н., доцент, кафедра технологии броидильных производств и виноделия им. Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, m-babaeva@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2258-3828>

Анастасия Е. Агафوشкина магистрант, кафедра технологии броидильных производств и виноделия им. Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, agafoshkina.nastya@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0003-2172-7137>

Дмитрий А. Воробьев магистрант, кафедра технологии броидильных производств и виноделия им. Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, dmitwor@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6160-6351>

Софья И. Сахарова магистрант, кафедра технологии броидильных производств и виноделия им. Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, tzekur@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-8383-5618>

Алексей Н. Яковлев к.т.н., доцент, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vip.alex2702@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3246-6628>

Вклад авторов

Светлана В. Жуковская написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Мария В. Бабаева предложила методику проведения эксперимента и организовала производственные испытания

Анастасия Е. Агафوشкина обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Дмитрий А. Воробьев предложил методику проведения эксперимента и организовал производственные испытания

Софья И. Сахарова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Алексей Н. Яковлев консультация в ходе исследования

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Svetlana V. Zhukovskaya Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology of fermentation and winemaking named after G.G. Agabalian department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val street 73, Moscow, 109004, Russia, zhu2165@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2324-6340>

Maria V. Babaeva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology of fermentation and winemaking named after G.G. Agabalian department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val street 73, Moscow, 109004, Russia, m-babaeva@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2258-3828>

Anastasia E. Agafoshkina master student, technology of fermentation and winemaking named after G.G. Agabalian department, K. G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val street 73, Moscow, 109004, Russia, agafoshkina.nastya@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0003-2172-7137>

Dmitry A. Vorobjov master student, technology of fermentation and winemaking named after G.G. Agabalian department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val street 73, Moscow, 109004, Russia, dmitwor@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6160-6351>

Sofia I. Sakharova master student, technology of fermentation and winemaking named after G.G. Agabalian department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val street 73, Moscow, 109004, Russia, tzekur@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-8383-5618>

Aleksey N. Yakovlev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vip.alex2702@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3246-6628>

Contribution

Svetlana V. Zhukovskaya wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Maria V. Babaeva proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Anastasia E. Agafoshkina review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Dmitry A. Vorobjov proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Sofia I. Sakharova review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Aleksey N. Yakovlev consultation during the study

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 25/01/2024	После редакции 13/02/2024	Принята в печать 29/02/2024
Received 25/01/2024	Accepted in revised 13/02/2024	Accepted 29/02/2024

Обзор: Непрерывное брожение пива

Иван Н. Криваносов ¹	krivanosov.ivan51@gmail.com	 0009-0003-2114-2526
Инна В. Новикова ¹	noviv@list.ru	 0000-0002-2360-5892
Александр С. Муравьев ¹	hnrtrun@mail.ru	 0000-0002-5989-0752

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

Аннотация. В данной работе отражены основные сведения, известные на данный момент касательно непрерывного брожения и дображивания пива. Рассматривается история непрерывного брожения с момента первого задокументированного упоминания технологии. Проводится сравнение зарубежных и отечественных технологий непрерывного сбраживания. Рассматривается перспектива устранения недостатков такого метода – сложность эксплуатации и дороговизна оборудования. Затрагиваются вопросы непрерывной варки пива. С появлением иммобилизованных дрожжей процесс стал более доступным в освоении. Такие дрожжи несут в себе ряд преимуществ, особенно интересных для непрерывного процесса – время брожения сокращается, а срок использования дрожжей увеличивается. Как следствие, для процесса можно использовать меньшее количество дрожжей, что уменьшает размер их колонии и позволяет сократить затраты на оборудование (т. к. для непрерывного процесса дрожжей требуется сравнительно больше). Освещается возможность использования пивной дробины, побочного продукта производства, в качестве реагента-носителя для иммобилизованных дрожжей, что сократит стоимость производства. Дрожжи самопроизвольно прилипают к поверхности такого носителя, что приводит к прямому контакту иммобилизованной массы с жидкими субстратами. Пришли к выводу, что пиво, приготовленное с использованием непрерывного брожения по органолептическим свойствам, не отличается от пива, приготовленного по классической технологии. Несмотря на то, что в настоящее время непрерывное брожение практически не освещается, материалы статьи показывают, что дальнейшие исследования в этой области являются крайне перспективными и востребованными, так как позволяют ускорить время производства пива, а также сделать процесс более эргономичным.

Ключевые слова: пивоварение, пиво, непрерывное брожение, иммобилизованные дрожжи, пивные дрожжи.

Review: Continuous fermentation of beer

Ivan N. Krivanosov ¹	krivanosov.ivan51@gmail.com	 0009-0003-2114-2526
Inna V. Novikova ¹	noviv@list.ru	 0000-0002-2360-5892
Aleksandr S. Muravev ¹	hnrtrun@mail.ru	 0000-0002-5989-0752

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. This work reflects the basic information currently known regarding continuous fermentation and post-fermentation of beer. The history of continuous fermentation since the first documented mention of the technology is examined. A comparison is made of foreign and domestic continuous fermentation technologies. The prospect of eliminating the shortcomings of this method - the complexity of operation and high cost of equipment - is being considered. The issues of continuous brewing of beer are touched upon. With the advent of immobilized yeast, the process has become more accessible to master. Such yeast has a number of advantages, especially interesting for a continuous process - fermentation time is reduced and the useful life of the yeast is increased. As a result, a smaller quantity of yeast can be used for the process, which reduces the size of the yeast colony and reduces equipment costs (since comparatively more yeast is required for a continuous process). The possibility of using brewer's grains, a by-product of production, as a carrier reagent for immobilized yeast is highlighted, which will reduce the cost of production. Yeast spontaneously adheres to the surface of such a carrier, which leads to direct contact of the immobilized mass with liquid substrates. We came to the conclusion that beer prepared using continuous fermentation does not differ in organoleptic properties from beer prepared using classical technology. Despite the fact that at present continuous fermentation is practically not covered, the materials of the article show that further research in this area is extremely promising and in demand, as it will speed up the time of beer production, as well as make the process more ergonomic.

Keywords: brewing, beer, continuous fermentation, immobilized yeast, brewer's yeast..

Введение

В пивоварении, как и в любой другой отрасли, специалисты и ученые всегда стремились к максимальной оптимизации процесса, интенсификации производства и упрощении рабочего процесса. Неудивительно, что с повсеместной автоматизацией предприятий, всё чаще можно было услышать об инновационных способах производства пива. Так, изобретенные

в начале двадцатого века цилиндрикоконические бродильные аппараты (ЦКБА) уже к 70-м годам стали широко распространены, а в настоящее время являются основными емкостями для производства пива. Кроме того, в настоящее время идет речь об использовании наноструктурированных гибридных биороботов для улучшения процесса брожения с последующим выводом их без дополнительных этапов фильтрации [8].

Для цитирования

Криваносов И.Н., Новикова И.В., Муравьев А.С. Обзор: Непрерывное брожение пива // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 126–130. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-126-130

For citation

Krivanosov I.V., Novikova I.V. Muravev A.S. Review: Continuous fermentation of beer. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 126–130. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-126-130

Однако еще существует несправедливо редко упоминаемый способ интенсификации брожения – с помощью непрерывного способа брожения пива. Доказано, что непрерывный способ брожения обеспечивает ряд экономических преимуществ не только при производстве пива, но и в других сферах отрасли [4].

Развитие непрерывного способа брожения пива

Автоматизация процесса пивоварения, ускорения сроков брожения и дображивания – весьма очевидные направления для развития пивоваренной промышленности. Закономерно, что разработки в этом направлении начались сразу в нескольких странах, из-за чего выделить «первопроходцев» в непрерывном брожении достаточно проблематично. Кроме того, был ряд предшествующих аппаратов, стремящихся к выполнению данной функции. Чаще всего для непрерывного брожения пива использовали ряд аппаратов, в каждом из которых сусло находилось на той или иной стадии брожения, следовательно, в каждом танке поддерживались свои необходимые условия для постоянного поддержания заданного количества дрожжей.

В СССР в 1961 году было запатентовано устройство для непрерывного брожения за авторством М.Т. Денщикова [18]. Охмеленное холодное (22 °С) сусло вместе с дрожжами подавалось в аппарат с горизонтальными перегородками, где каждая секция располагалась под наклоном, как следствие пиво постепенно переливалось из секции в секцию, а козырьки на местах поворота потока сусла обеспечивали образование газовой подушки и перемешивании пива углекислотой. Позже, в 1964 году этим же автором было опубликовано описание способа непрерывного брожения, дополненное дрожжанкой и дрожжегенератором [19]. В 1976 году был опубликован патент установки, состоящей из ряда отдельных емкостей, каждая с оптимальными условиями для той или иной стадии, кроме того, установка включала специальный аппарат для приготовления «дрожжевой разводки» в виде вертикального сосуда с устройствами для пеногашения и аэрации. Преимущество установки заключалось в наличии между танками для дображивания устройства для удаления летучих продуктов брожения и остаточных дрожжей через сепаратор. А в 1987 году, спустя три года с момента подачи, был запатентован способ непрерывного сбраживания пивного сусла в батаре ферментеров В.Л. Яровенко. Позже этот патент будет освещен более подробно, т. к. практические знания, полученные в ходе ряда экспериментов, позволяет наиболее детально и подробно разобрать принцип непрерывного брожения.

Для полного понимания важно обратиться к зарубежным источникам. Уже в пятидесятых годах прошлого века в Новой Зеландии Мортон Куттс, пивовар в третьем поколении, по данным разных источников, изобрел и внедрил способ непрерывного брожения [7,9]. По некоторым данным, установку он изобрел в 1953 году, в 1956 она была запатентована и внедрена в производство. В августе следующего года заявка была подана в патентное ведомство США, дополнено в 1960 и опубликовано в 1966 году [10].

Мортон описал процесс ферментации и необходимые режимы, в то время как пивоварни его компании работали по этому принципу уже несколько лет. Так же автор утверждал, что установка применима не только для пивоваренной индустрии, но и для всех напитков из недистиллированного солода. За свои заслуги и прорыв в области пивоварения Куттс был назначен офицером ордена Британской империи [8].

Его метод состоял из двух «зон» пивоваренного оборудования – брожения и дображивания. Сусло непрерывно подавалось при низкой температуре вместе с дрожжами, и при постоянном перемешивании проходило через стадию брожения к дображиванию. Отмечено, что брожение могло протекать от 8 °С до точки термического уничтожения дрожжей. Сам Куттс проводил брожение при температуре 15,5 °С, что считалось довольно высокой температурой брожения. Поток был настроен с такой скоростью, чтобы постоянно добавлять не ферментированное сусло и отбирать молодое пиво. Постоянное добавление сусла поддерживает дрожжи во взвешенном состоянии в созревающем пиве. Таким образом поддерживается ферментативная активность и избегается автолиз дрожжей [10]. Основные параметры такого брожения – концентрация дрожжей в сусле не менее 12 г/л. и поддержание температуры выше 48 °F (9°). Установка предполагала, что некоторую часть дрожжей, отделившихся при брожении, можно было вернуть в систему, а также рециркулировать дрожжевое пиво в систему для получения напитка более высокой крепости. Кроме того, в патенте указана схема с прерывающимся потоком между зонами, а также схема отдельной ферментации солода и сахаристых материалов. Количество дрожжей регулировалось скоростью перемешивания, концентрацией задаваемых дрожжей и температурой.

С помощью корректировки концентрации дрожжей можно вывести закономерность – при концентрации 5 г/л. пиво получается более густым и сладким, при более быстром размножении, 15 г/л. – более сухим и горьким. Здесь необходимо

отметить, что концентрация дрожжей напрямую связана с изначальной экстрактивностью солода. Такие концентрации дрожжей справедливы для начальной экстрактивности 1,021 град. При более высокой концентрации, для получения пива с такими же органолептическими показателями, необходимо увеличить концентрацию дрожжей прямо пропорционально.

Мы так же располагаем практическими данными, полученные в ходе длительных исследований советских ученых. Учитывая различия в установках и небольшая разница в публикации патента Куттса и Советских ученых (устройство Куттса опубликовано в 1966, тогда как установка Денщикова уже в 1961), можно сказать, что работы велись параллельно и обособленно друг от друга. Эксперименты отечественных исследователей показали, что способ непрерывного брожения не только имеет теоретическую значимость, но и хорошо показывает себя на практике. Уже в семидесятых годах по данной технологии процесс брожения составлял 8,5 дней. Для сравнения, на тот момент классическая рецептура брожения и дображивания длилась от трех недель и выше. Всё это с использованием дрожжей *Saccharomyces* шт. 776. И без использования ферментных препаратов. Все показатели готового пива соответствовали стандарту, а инфицирование не произошло. Важно отметить, что батарея могла работать непрерывно 20 суток до момента дезинфекции, либо 60 суток, что так же не допускало инфицированность сусла, но срок брожения и дображивания в сумме увеличивался на 13 суток. Таким образом, при наличии двух таких линий можно осуществлять процесс брожения без остановок, переводя поток на другую линию во время дезинфекции. Либо же, для большей экономии и эргономичности установить два ферментера на одну линию, которая бы позволяла осуществлять на одной линии непрекращающийся поток регенерации дрожжевых клеток, путем мойки головного ферментера во время работы ферментера второго.

В конце XX века Нидерландский ученый Христиан Виллем Верстег опубликовал патенты, ныне принадлежащий компании Хайникен. Один из них описывал способы непрерывного приготовления сусла, второй – способ непрерывной варки сусла [16,17]. Таким образом можно было весь процесс пивоварения сделать непрерывным. Варка осуществлялась в нагревателе с помощью реактора с перекрываемым потоком, выполненным в виде колонны с вращающимися дисками. После сусло обрабатывается в противотоке пара в отпарной колонне. Хотя такой способ является более быстрым и менее энергозатратным,

существует опасность возникновения белкового осадка в трубах, поэтому способ, при котором сусло кипятится с хмелем по стандартной всё так же имеет место быть при последующем непрерывном брожении.

Иммобилизованные клетки

Иммобилизованные (от лат. *Immobilis* – неподвижный) дрожжи – это дрожжи, зафиксированные на различных носителях или наполнителях. Их исследование велось примерно в то же время, что и способов непрерывного брожения пива. Дело в том, что все способы раньше использовали интактные клетки. Исследователи отмечали, что при таких параметрах непрерывная схема уступает традиционной технологии из-за сложной конструкции и сложной эксплуатации [11]. Иммобилизованные дрожжи должны были решить проблемы и устранить недостатки непрерывного брожения [12,13]. Иммобилизация различна при выборе носителя клеток. Носители могут быть органическими и неорганическими.

В качестве носителя чаще всего используется пористое стекло *Siran*, представляющее собой стеклянный порошок, который подвергается обжигу вместе солью. Соль в последствии вымывается и получается реагент с множеством пор, в который их задерживаются дрожжи. Такой носитель можно использовать повторно, вымывая дрожжи различными реагентами и нейтрализуя носитель [15].

Такие дрожжи несут в себе ряд преимуществ, особенно интересных для непрерывного процесса – время брожения сокращается, а срок использования дрожжей увеличивается. Как следствие, для процесса можно использовать меньшее количество дрожжей, что уменьшает размер их колонии и позволяет сократить затраты на оборудование (т. к. для непрерывного процесса дрожжей требуется сравнительно больше).

Существенно снизить затраты на производство и выделить непрерывный способ брожения на фоне традиционной схемы производства пива позволит переход на более дешевые носители для иммобилизованных клеток. Существует исследования, доказывающие, что в качестве носителя может выступать пивная дробина. Дело в том, что дрожжи самопроизвольно прилипают к поверхности такого носителя, что приводит к прямому контакту иммобилизованной массы с жидкими субстратами [12]. Так же проводились исследования по контакту дрожжей с древесной щепой и этилцеллюлозой как возможными носителями. Не смотря на очевидное преимущество дробины, как вторичного

продукта производства, а следствие, его экономическое преимущество, у этого способа был замечен недостаток – постепенное отслаивание массы. Возможны несколько путей решения этой проблемы, как составление суспензий с различными органическими реагентами (например, зернами кукурузы), либо – своевременное внесение новых суспензий дробины в меньшей концентрации.

Кроме того, пиво, приготовленное по данной технологии, хоть и имело низкое содержание высших спиртов, потребитель не смог заметить разницы с вкусо-ароматическим профилем пива, приготовленного по стандартной технологии [21].

Заключение

В настоящее время тема непрерывного брожения пива получает незаслуженно ограниченное внимание. Использование технологии непрерывного брожения с использованием иммобилизованных дрожжевых клеток имеет огромный потенциал для пивоваренной индустрии. Это позволит обеспечить выпуск большого количества пива с меньшими объемами производственных помещений и более гибкой эксплуатации оборудования. Использование пивной дробины так же позволит существенно снизить затраты на производство. Таким образом, непрерывное брожение имеет огромный потенциал в плане интенсификации процессов брожения и увеличения эргономичности технологического процесса.

Литература

- 1 Tata M., Bower P., Bromberg S., Duncombe D. et al. Immobilized yeast bioreactor systems for continuous beer fermentation // *Biotechnol Prog.* 1999. V. 15. № 1. P. 105-113. doi: 10.1021/bp980109z
- 2 Yadav B.S., Rani U., Dhamija S.S., Nigam P. et al. Process optimization for continuous ethanol fermentation by alginate-immobilized cells of *Saccharomyces cerevisiae* HAU-1 // *J Basic Microbiol.* 1996. V. 36. №3. P. 205-210. doi: 10.1002/jobm.3620360307
- 3 Казанцев Е.Н., Колпакчин А.П., Раттель Н.Н. Влияние длительной, непрерывной ферментации на морфологию и физиологию дрожжей, находящихся в носителе // *Микробиология.* 1979. V. 48. № 2. P. 296-301.
- 4 Verbelen P.J., De Schutter D.P., Delvaux F., Verstrepen K.J. et al. Immobilized yeast cell systems for continuous fermentation applications // *Biotechnol Lett.* 2006. V. 28. № 19. P. 1515-1525. doi: 10.1007/s10529-006-9132-5
- 5 Svedlund N., Evering S., Gibson B., Krogerus K. Fruits of their labour: biotransformation reactions of yeasts during brewery fermentation // *Appl Microbiol Biotechnol.* 2022. V. 106. № 13-16. P. 4929-4944. doi: 10.1007/s00253-022-12068-w
- 6 Maria-Hormigos R., Mayorga-Martinez C.C., Kinčl T., Pumera M. Nanostructured Hybrid BioBots for Beer Brewing // *ACS Nano.* 2023. V. 17. № 8. P. 7595-7603. doi: 10.1021/acsnano.2c12677
- 7 Phillips J. 'Alcohol', Te Ara – the Encyclopedia of New Zealand. 2013. URL: <http://www.TeAra.govt.nz/en/alcohol/print>
- 8 Second supplement to The London Gazette of Friday, 10th June 1983. URL: <https://www.thegazette.co.uk/London/issue/49376/supplement/34>
- 9 Gaynor B. Swallowing of DB ends bitter saga. URL: <https://www.nzherald.co.nz/business/swallowing-of-db-ends-bitter-saga/47D2XPYQ2XRUJLENVOAUOWAY4/>
- 10 Patent № 234026A, US. Process for the manufacture of beer, ale and the like / Coutts M.W. Application 01.09.1960; Publication 08.02.1966.
- 11 Brányik T., Silva D.P., Vicente A.A., Lehnert R. et al. Continuous immobilized yeast reactor system for complete beer fermentation using spent grains and comcobs as carrier materials // *J Ind Microbiol Biotechnol.* 2006. V. 33. № 12. P. 1010-1018. doi: 10.1007/s10295-006-0151-y
- 12 Brányik T., Vicente A.A., Dostálek P., Teixeira J.A. Continuous beer fermentation using immobilized yeast cell bioreactor systems // *Biotechnol Prog.* 2005. V. 21. № 3. P. 653-663. doi: 10.1021/bp050012u
- 13 Brányik T., Vicente A.A., Cruz J.M., Teixeira J.A. Continuous Primary Fermentation of Beer with Yeast Immobilized on Spent Grains - The Effect of Operational Conditions // *Journal of the American Society of Brewing Chemists.* 2004. V. 62. № 1. doi: 10.1094/ASBCJ-62-0029
- 14 Brányik T., Vicente A.A., Kuncová G., Podrážký O. et al. Growth model and metabolic activity of brewing yeast biofilm on the surface of spent grains: a biocatalyst for continuous beer fermentation // *Biotechnol Prog.* 2004. V. 20. № 6. P. 1733-1740. doi: 10.1021/bp049766j
- 15 Кунце В. Технология солода и пива. СПб.: Профессия, 2001. 912 с.
- 16 Пат. № 96121364, RU, C12C 7/00, 13/00. Способ непрерывной варки суслу / Верстег Х.В., Висхер Х.Я. Патентообладатель: Хейнекен Техникал Сервисес Б.В. № 96121364/13; Заявл. 24.03.1995; Оpubл. 10.02.1999.
- 17 Пат. № 9293053044, RU. Способ непрерывной приготовления суслу (варианты) / Верстег Х.В. Патентообладатель: Хейнекен Техникал Сервисес Б.В. № 93053044/13; Заявл. 10.01.1992; Оpubл. 20.11.1997.
- 18 Авторское свидетельство № 142610, SU, C12C 11/07. Устройство для непрерывного брожения / Денщиков М.Т. № 725037; Заявл. 05.04.1961; Оpubл. 01.01.1961.
- 19 Авторское свидетельство № 182651, SU, C12C 11/07. Способ непрерывного сбраживания суслу / Денщиков М.Т. № 900104/28-13; Заявл. 14.05.1964; Оpubл. 09.06.1966.
- 20 Константинов В.Н. Изучение непрерывного процесса главного брожения при иммобилизации пивных дрожжей на пивной дробине в аэролитном реакторе. (Португалия) // *Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал.* 2005. №. 4. С. 1335-1335.
- 21 Ермолаева Г.А. Основные процессы пивоварения. Получение пива с применением иммобилизованных дрожжей // *Пиво и напитки.* 2003. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-protsessy-pivovareniya-poluchenie-piva-s-primeneniem-immobilizovannyh-drozhzhey-1>

References

- 1 Tata M., Bower P., Bromberg S., Duncombe D. et al. Immobilized yeast bioreactor systems for continuous beer fermentation. *Biotechnol Prog.* 1999. vol. 15. no. 1. pp. 105-113. doi: 10.1021/bp980109z
- 2 Yadav B.S., Rani U., Dhamija S.S., Nigam P. et al. Process optimization for continuous ethanol fermentation by alginate-immobilized cells of *Saccharomyces cerevisiae* HAU-1. *J Basic Microbiol.* 1996. vol. 36. no. 3. pp. 205-210. doi: 10.1002/jobm.3620360307

- 3 Kazantsev E.N., Kolpakchin A.P., Rattel N.N. The influence of long-term, continuous fermentation on the morphology and physiology of yeast in the carrier. *Microbiology*. 1979. vol. 48. no. 2. pp. 296-301. (in Russian).
- 4 Verbelen P.J., De Schutter D.P., Delvaux F., Verstrepen K.J. et al. Immobilized yeast cell systems for continuous fermentation applications. *Biotechnol Lett*. 2006. vol. 28. no. 19. pp. 1515-1525. doi: 10.1007/s10529-006-9132-5
- 5 Svedlund N., Evering S., Gibson B., Krogerus K. Fruits of their labour: biotransformation reactions of yeasts during brewery fermentation. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2022. vol. 106. no. 13-16. pp. 4929-4944. doi: 10.1007/s00253-022-12068-w
- 6 Maria-Hormigos R., Mayorga-Martinez C.C., Kinčl T., Pumera M. Nanostructured Hybrid BioBots for Beer Brewing. *ACS Nano*. 2023. vol. 17. no. 8. pp. 7595-7603. doi: 10.1021/acsnano.2c12677
- 7 Phillips J. 'Alcohol', Te Ara – the Encyclopedia of New Zealand. 2013. Available at: <http://www.TeAra.govt.nz/en/alcohol/print>
- 8 Second supplement to The London Gazette of Friday, 10th June 1983. Available at: <https://www.thegazette.co.uk/London/issue/49376/supplement/34>
- 9 Gaynor B. Swallowing of DB ends bitter saga. Available at: <https://www.nzherald.co.nz/business/swallowing-of-db-ends-bitter-saga/47D2XPYQ2XRJRLNVOAUOWAY4/>
- 10 Coutts M.W. Process for the manufacture of beer, ale and the like. Patent US, no. 234026A, 1966.
- 11 Brányik T., Silva D.P., Vicente A.A., Lehnert R. et al. Continuous immobilized yeast reactor system for complete beer fermentation using spent grains and corncobs as carrier materials. *J Ind Microbiol Biotechnol*. 2006. vol. 33. no. 12. pp. 1010-1018. doi: 10.1007/s10295-006-0151-y
- 12 Brányik T., Vicente A.A., Dostálek P., Teixeira J.A. Continuous beer fermentation using immobilized yeast cell bioreactor systems. *Biotechnol Prog*. 2005. vol. 21. no. 3. pp. 653-663. doi: 10.1021/bp050012u
- 13 Brányik T., Vicente A.A., Cruz J.M., Teixeira J.A. Continuous Primary Fermentation of Beer with Yeast Immobilized on Spent Grains - The Effect of Operational Conditions. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. 2004. vol. 62. no. 1. doi: 10.1094/ASBCJ-62-0029
- 14 Brányik T., Vicente A.A., Kuncová G., Podrazký O. et al. Growth model and metabolic activity of brewing yeast biofilm on the surface of spent grains: a biocatalyst for continuous beer fermentation. *Biotechnol Prog*. 2004. vol. 20. no. 6. pp. 1733-1740. doi: 10.1021/bp049766j
- 15 Kuntze V. Technology of malt and beer. St. Petersburg, Profession, 2001. 912 p. (in Russian).
- 16 Versteeg H.V., Viskher H.Ya. Method for continuous wort boiling. Patent RF, no. 96121364, 1999.
- 17 Versteeg H.V. Method for continuous preparation of wort (variants). Patent RF, no. 9293053044, 1997.
- 18 Denshchikov M.T. Device for continuous fermentation. Copyright certificate SU, no. 142610, 1961.
- 19 Denshchikov M.T. Method of continuous fermentation of wort. Copyright certificate SU, no. 182651, 1966.
- 20 Konstantinov V.N. Study of the continuous process of main fermentation during the immobilization of brewer's yeast on brewer's grains in an airlift reactor. (Portugal). *Food and processing industry. Abstract journal*. 2005. no. 4. pp. 1335-1335. (in Russian).
- 21 Emolaeva G.A. Basic brewing processes. Production of beer using immobilized yeast. *Beer and drinks*. 2003. no. 5. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-protsessy-pivovareniya-poluchenie-piva-s-primeneniem-immobilizovannyh-drozhzhhey-1> (in Russian).

Сведения об авторах

Иван Н. Криваносов аспирант, инженер, научно-исследовательская лаборатория разработки технологий напитков, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, krivanosov.ivan51@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0003-2114-2526>

Инна В. Новикова д.т.н., профессор, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, noviv@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2360-5892>

Александр С. Муравьев к.т.н., инженер, отдел стандартизации и метрологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, hntun@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5989-0752>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Ivan N. Krivanosov postgraduate student, engineer, research laboratory for the development of beverage technologies, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, krivanosov.ivan51@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0003-2114-2526>

Inna V. Novikova Dr. Sci. (Engin.), professor, technologies of fermentation and sugar industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, noviv@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2360-5892>

Aleksandr S. Muravev Cand. Sci. (Engin.), engineer, metrology and standardization department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, hntun@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5989-0752>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/01/2024	После редакции 05/02/2024	Принята в печать 23/02/2024
Received 18/01/2024	Accepted in revised 05/02/2024	Accepted 23/02/2024

Физико-химическая кинетика водонасыщения семян сои в процессе производства современных пищевых систем

Дарья В. Купчак	¹	daria-kup@rambler.ru	 0000-0002-5176-4153
Сергей М. Доценко	²	dsm2205@yandex.ru	 0000-0003-3427-0888
Ольга И. Любимова	¹	lub.ol@mail.ru	 0000-0002-2347-8635
Ирина В. Бояринева	³	boyarinevaiv@ya.ru	 0000-0003-4791-884X

¹ Тихоокеанский государственный университет, ул. Тихоокеанская, 136, г. Хабаровск, 680042, Россия

² Амурский государственный университет, Игнатьевское шоссе, 21, г. Благовещенск, 675027, Россия

³ Дальневосточный федеральный университет, б-та Аякс, 10, о. Русский, г. Владивосток, 690922, Россия

Аннотация. Цель работы – установить кинетику процесса интенсивности водонасыщения семян сои с учетом различных факторов. В приведенных исследованиях была представлена схема, разделяющая технологические операции получения концентрированных форм соевого белка для проектирования пищевых систем по нескольким классификационным признакам: по виду технологического воздействия на семена сои, по типу разрушающего воздействия, по способу выделения и концентрирования белковых веществ, по физической форме конечного продукта. Данная схема показывает различные трансформирующие стадии модификации соевого сырья в производственном процессе: насыщение водой, проращивание, высушивание, прожаривание, пропаривание, варка, плющение, дробление, перемалывание, истирание, экстракция и другие, позволяющие в конечном итоге преобразовать исходные семена в нутриентоадекватные ингредиенты различной физической формы: гель, паста, мука, гранулят, текстурат, концентрат, изолят. Начальным этапом процесса преобразования семян сои является их водонасыщение путем замачивания в водной среде. Отмечается, что при погружении семян сои в воду начинается процесс водонасыщения, кинетика которого характеризует приращение объема, изменение геометрических параметров и увеличение влажности семян во времени с учетом управляемых технологических факторов: температуры и степени минерализации воды, а также зависит от биологических особенностей сорта сои: крупности семян, проницаемости оболочки, физико-химических свойств соевого белка и др. Данный процесс определили при помощи уравнений, описывающих кинетику водонасыщения семян сои. Приведенные исследования по созданию подходов к пониманию многофакторного анализа процесса водонасыщения семян сои дают возможность управлять ожидаемым результатом при целевом пищевом проектировании.

Ключевые слова: семена сои, водонасыщение, зависимость, соевый белок, пищевые системы.

Physical and chemical kinetics of water saturation of soybean seeds in the process of modern food systems production

Daria V. Kupchak	¹	daria-kup@rambler.ru	 0000-0002-5176-4153
Sergey M. Dotsenko	²	dsm2205@yandex.ru	 0000-0003-3427-0888
Olga I. Lyubimova	¹	lub.ol@mail.ru	 0000-0002-2347-8635
Irina V. Boyarineva	³	boyarinevaiv@ya.ru	 0000-0003-4791-884X

¹ Pacific National University, Tikhookeanskaya Str., 136, Khabarovsk, 680042, Russia

² Amur State University, Blagoveshchensk, Ignatievskoe Highway, 21, Blagoveshchensk 675027, Russia

³ Far Eastern Federal University, 10, Ajax, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia

Abstract. The purpose of the work is to establish the kinetics of the intensity of water saturation of soybean seeds process, taking into account various factors. In the research a scheme was presented that separates the technological operations of obtaining concentrated forms of soy protein for the design of food systems according to several classification criteria: by type of technological effect on soybean seeds, by type of destructive effect, by the method of isolation and concentration of protein substances, by the physical form of the final product. This scheme shows the various transformative stages of modification of soy raw materials in the production process: water saturation, germination, drying, roasting, steaming, cooking, flattening, crushing, grinding, abrasion, extraction and others, which ultimately allow converting the original seeds into nutritionally adequate ingredients of various physical forms: gel, paste, flour, granulate, texturate, concentrate, isolate. The initial stage of the soybean seed conversion process is the water saturation by soaking in an aqueous medium. It is noted that when soybean seeds are immersed in water, the process of water saturation begins, the kinetics of which characterizes an increase in volume, a change in geometric parameters and an increase in seed moisture over time, taking into account controlled technological factors: temperature and degree of mineralization of water, and also depends on the biological characteristics of the soybean variety: seed size, shell permeability, physico-chemical properties of soy protein etc. This process was determined using equations describing the kinetics of water saturation of soybean seeds. The studies on the creation of approaches to understanding the multifactorial analysis of the process of water saturation of soybean seeds make it possible to control the expected result in targeted food design.

Keywords: soy seeds, water saturation, dependence, soy protein, food systems.

Для цитирования

Купчак Д.В., Доценко С.М., Любимова О.И., Бояринева И.В. Физико-химическая кинетика водонасыщения семян сои в процессе производства современных пищевых систем // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 131–136. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-131-136

For citation

Kupchak D.V., Dotsenko S.M., Lyubimova O.I., Boyarineva I.V. Physical and chemical kinetics of water saturation of soybean seeds in the process of modern food systems production. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 131–136. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-131-136

Введение

В последние годы концепции, поведение и модели потребления продуктов питания постоянно меняются. Новые тренды в пищевых предпочтениях связаны с улучшением качества потребления, в том числе, со стремлением к доступным экологически чистым, здоровым источникам пищи. Увеличение спроса на пищевую продукцию, способствующую при регулярном включении в пищевые рационы, обеспечить активное долголетие и формирование адаптационного потенциала организма, является источником технологических инноваций, провоцирует

трансформацию производства и объективно приводит к совершенствованию и генерации новых направлений переработки сырья [1–7, 11-20].

Одной из современных тенденций в пищевой технологии является широкое применение семян сои в производстве нутриентноадекватных ингредиентов, используемых в функциональном, специализированном и персонализированном питании.

Существуют различные способы модификации соевого биоактивного сырья, позволяющие посредством сложной иерархической системы способов и методик, получить концентрированные формы соевого белка (рисунок 1).

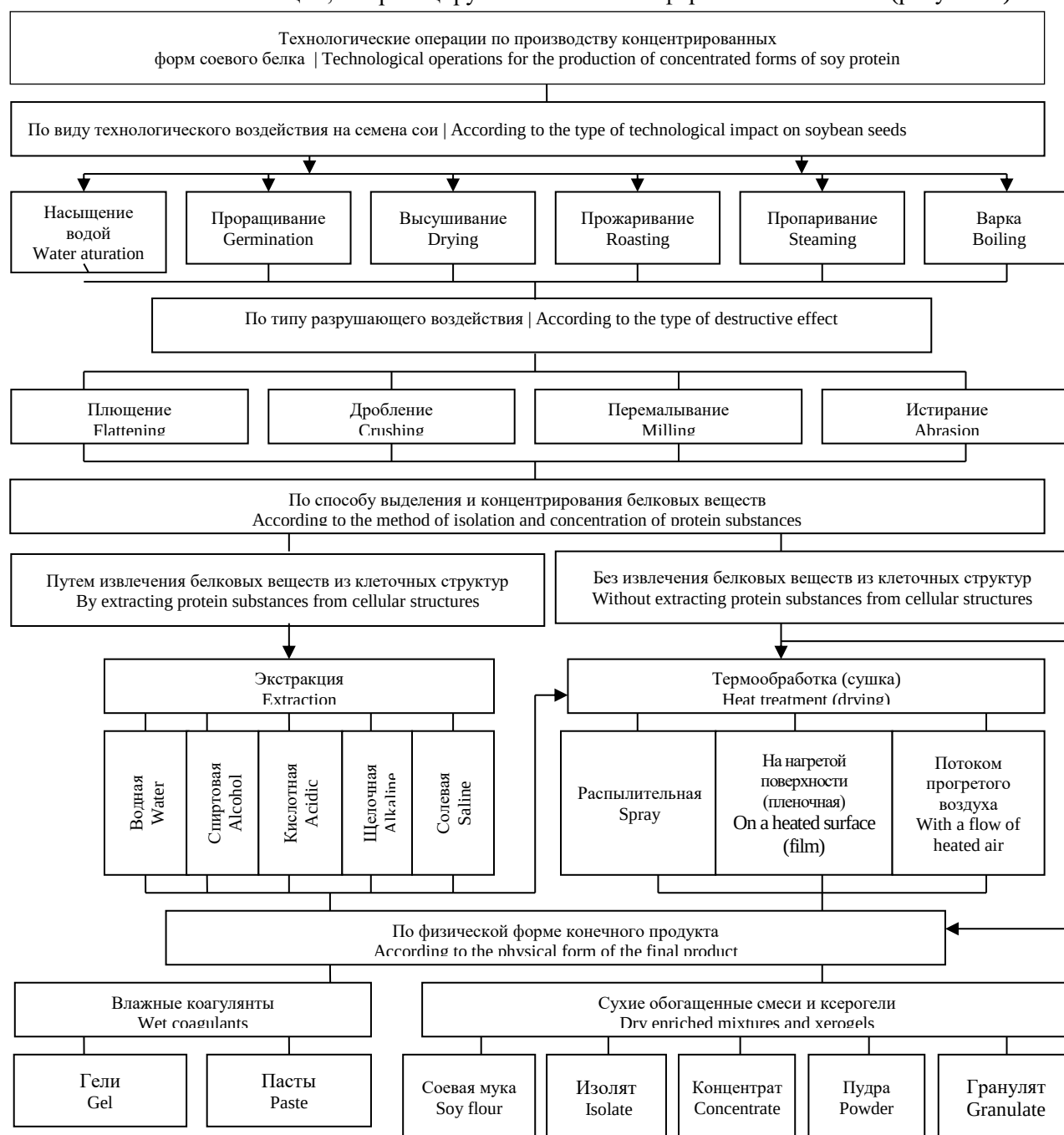


Рисунок 1. Схема классификации основных операций получения концентрированных форм соевого белка
Figure 1. Classification scheme of the main operations for obtaining concentrated forms of soy protein

Процессы, происходящие при этом, можно разделить по нескольким классификационным признакам: по виду технологического воздействия на семена сои, по типу разрушающего воздействия, по способу выделения и концентрирования белковых веществ, по физической форме конечного продукта и показать различные трансформирующие стадии модификации соевого сырья: насыщение водой, проращивание, высушивание, прожаривание, пропаривание, варка, плющение, дробление, перемалывание, истирание, экстракция и другие, позволяющие в конечном итоге преобразовать исходные семена в пищевые ингредиенты различной физической формы: гель, паста, мука, гранулят, текстурат, концентрат, изолят.

Как показано на рисунке 1, начальным этапом данного процесса является водонасыщение семян сои путем замачивания в водной среде. При этом на эффективность данной технологической трансформации влияют различные факторы [6, 8–10]. Цель исследования: установить кинетику процесса интенсивности водонасыщения семян сои с учетом различных факторов.

Материалы и методы

В работе использованы методы и положения математического анализа. Выбор факторов, влияющих на кинетику водонасыщения семян сои, производился на основании совокупности исследуемых явлений.

Результаты и обсуждение

При нахождении семян сои во влажной среде они поглощают воду, их белковые вещества набухают, оболочка становится мягче и легче отделяется. На основании анализа литературных источников, а также практического опыта установили, что приращение текущего значения объема семени V_i подчиняется следующей зависимости:

$$V_i = V_n e^{-c_v t}, \quad (1)$$

где V_n – начальный объем семени; c_v – эмпирический коэффициент; t – время водонасыщения семени.

Продолжительность водонасыщения семени t_k выразим как:

$$t_k = \frac{2,3}{c_v} \lg \left(\frac{V_n}{V_k} \right), \quad (2)$$

где V_k – конечный объем семени.

Представим начальный объем семени через его геометрические параметры, приняв семя сои за правильный эллипсоид вращения:

$$V_n = \frac{4}{3} \pi a_n b_n^2, \quad (3)$$

где a_n , b_n – соответствующие полуоси начального эллипсоида.

Для конечного значения объема семени имеем:

$$V_k = \frac{4}{3} \pi a_k b_k^2, \quad (4)$$

где a_k , b_k – соответствующие полуоси конечного эллипсоида.

Тогда, с учетом выражений (2)–(4) имеем, что

$$t_k^v = 2,3 c_v^{-1} \lg \left(\frac{a_n b_n^2}{a_k b_k^2} \right), \quad (5)$$

С другой стороны, в отношении данного процесса принимаем, что изменение объема V_i зерна сои в процессе его замачивания прямо пропорционально увеличению его влажности – W_i , т. е. существует зависимость, в соответствии с которой

$$V = f(W), \quad (6)$$

Данную линейную зависимость аппроксимируем выражением следующего вида:

$$V = V_n + k W_i, \quad (7)$$

где k – эмпирический коэффициент, равный $\Delta V / W_k$, а ΔV – объем приращения зерна и W_k – конечная влажность зерна.

С учетом этого можно записать

$$V_i = V_n + \frac{\Delta V}{W_k} W_i, \quad (8)$$

или

$$V_i = V_n + \frac{V_k - V_n}{W_k} W_i$$

В то же время имеем, что

$$V = \frac{4}{3} \pi \left[a_n b_n^2 + (a_k b_k^2 - a_n b_n^2) \frac{W_i}{W_k} \right], \quad (9)$$

$$\text{Примем, что } W_k = W_n e^{-\alpha t}, \quad (10)$$

где W_n , W_k – соответственно начальная и конечная влажность семени сои.

Из выражения (10) имеем, что

$$t_k^v = 2,3 c_v^{-1} \lg \left(\frac{W_n}{W_k} \right), \quad (11)$$

По условию $t_k^w = t_k^v$ и тогда

$$2,3 c_v^{-1} \lg \left(\frac{a_n b_n^2}{a_k b_k^2} \right) = 2,3 c_w^{-1} \lg \left(\frac{W_n}{W_k} \right), \quad (12)$$

откуда

$$c_v^{-1} = \frac{\lg \left(\frac{W_n}{W_k} \right)}{c_w \lg \left(\frac{a_n b_n^2}{a_k b_k^2} \right)}$$

или

$$c_v = \frac{c_w \lg \left(\frac{a_n b_n^2}{a_k b_k^2} \right)}{\lg \left(\frac{W_n}{W_k} \right)}, \quad (13)$$

Данное уравнение можно принять в качестве кинетической характеристики или модели водонасыщения семян сои.

Интенсивность водонасыщения семян определили как

$$U = \frac{V_k - V_n}{t_k^v} = \frac{4\pi(a_k b_k^2 - a_n b_n^2)}{3 \cdot 2 \cdot 3c_v^{-1} \lg \left(\frac{a_n b_n^2}{a_k b_k^2} \right)} = \frac{1,82c_v(a_k b_k^2 - a_n b_n^2)}{\lg \left(\frac{a_n b_n^2}{a_k b_k^2} \right)}, \quad (14)$$

Таким образом интенсивность водонасыщения семян сои зависит от их крупности, а также коэффициента c_v , характеризующего проницаемость оболочки – $PP(x_i)$, покрывающей семя, температуры воды – $t^{\circ}(x_i)$, степени ее минерализации – $M(x_i)$ и физико-химических свойств соевого белка – $\PhiХС(x_i)$.

В свою очередь, зависимость водонасыщения семян сои от данных факторов, в общем виде можно представить как

$$R(t) = f(V_n; PP(x_i); t^{\circ}(x_i); M(x_i); \PhiХС(x_i)) \rightarrow opt, \quad (15)$$

С одной стороны представим зависимость $V = f(V_n)$ в виде выражения (1), а с другой как

$$V_k = V_k^{max} \left[1 - e^{-R(t)} \right], \quad (16)$$

где V_k^{max} – максимально возможный объем водонасыщения семени сои справедливый для случая благоприятного сочетания всей совокупности факторов $R(t)$.

Совместное решение уравнений (1) и (16) дает следующую кинетическую модель водонасыщения семян сои

$$\begin{aligned} V_n e^{-ct} &= V_k^{max} \left[1 - e^{-R(t)} \right] \\ V_k^{max} &= V_n e^{-ct} \left[1 - e^{-R(t)} \right]^{-1} \\ t_k^v &= 2,3c_v^{-1} \lg \left(\frac{a_n b_n^2}{a_k b_k^2 \left[1 - e^{-R(t)} \right]} \right) = \\ &= 2,3c_v^{-1} \lg \left\{ (a_n b_n^2)(a_k b_k^2) \left[1 - e^{-R(t)} \right]^{-1} \right\} \end{aligned} \quad (17)$$

Заключение

При погружении семян сои в воду начинается процесс водонасыщения, кинетика которого характеризует приращение объема и увеличение влажности семян во времени с учетом управляемых технологических факторов: температуры и степени минерализации воды, а также зависит от биологических особенностей сорта сои: крупности семян, проницаемости оболочки, физико-химических свойств соевого белка и др. Таким образом, проведенные исследования по созданию подходов к пониманию многофакторного анализа процесса водонасыщения семян сои позволяют управлять ожидаемым результатом при целевом пищевом проектировании.

Литература

- 1 Cobiac L., Irz X., Leroy P., Requillart V., Scarborough P., Soler L.G. Accounting for consumers' preferences in the analysis of dietary recommendations // Eur. J. Clin. Nutr. 2018.V. 73. P. 1033–1039.
- 2 Батурич А.К., Мартинчик А.Н., Камбаров А.О. Структура питания населения России на рубеже XX и XXI столетий // Вопросы питания. 2020. № 4. С. 60–70.
- 3 Тутельян В.А. и др. Нутриом как направление «главного удара»: определение физиологических потребностей в макро- и микронутриентах, минорных биологически активных веществах пищи // Вопросы питания. 2020. № 4. С. 24–34.
- 4 Zhi Ya., Puming H. China's Rural Residents' Food Consumption Demand and Elasticity Measurements // Statistics and Decision-Making. 2020. V. 36. № 03. P. 52–56.
- 5 Bi W., Song Y., Liu Y., Li Z. et al. Food Consumption Structure and Food Security—Through Mediating Effect Analysis of Agricultural R&D and Agricultural Investment // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022. V. 19. №. 19. P. 12524. doi: 10.3390/ijerph191912524
- 6 Доценко С.М., Стаценко Е.С. Получение пищевых систем функциональной направленности с использованием соевого компонента // Вестник ЮУрГУ Серия «Пищевые и биотехнологии». 2022. Т. 10. № 1. С. 67–75.
- 7 Lingyun D., Wen Y., Wei C. Empirical Study on Food Consumption Structure Based on Household Survey in Rural Xinjiang, China // Acta Scientific Agriculture. 2023. V. 7. P. 35–42.
- 8 Кошчаева О.В., Хмара И.В., Шкредов В.В. Влияние проращивания на химический состав и содержание антипитательных веществ в семенах сои // Научный журнал КубГАУ. 2014. № 97 (03). URL: <http://ej.kubagro.ru/2014/03/pdf/89.pdf>
- 9 Доценко С.М., Бирик И.В., Курчаков Д.В., Гужель Ю.А. Технологические аспекты моделирования белково-углеводных гранулятов на основе растительного сырья Дальнего востока // В мире научных открытий. 2015. № 2(62). С. 288–310.
- 10 Бычкова Е.А., Борисова А.В. Белковые концентраты сои: технологии производства и перспективы применения // Ползуновский вестник. 2021. № 2. С. 88–94.

- 11 Menis-Henrique M.E.C., Scarton M., Piran M.V.F., Clerici M.T.P.S. Cereal fiber: extrusion modifications for food industry // Current opinion in food science. 2020. V. 33. P. 141-148.
- 12 Miller K.B. Review of whole grain and dietary fiber recommendations and intake levels in different countries // Nutrition Reviews. 2020. V. 78. № 1. P. 29-36.
- 13 Barba F.J., Parniak O., Pereira S.A., Wiktor A. et al. Current applications and new opportunities for the use of pulsed electric fields in food science and industry // Food research international. 2015. V. 77. № 4. P. 773-798.
- 14 Pimentel M.R., Molina G., Dionísio A.P., Maróstica Junior M.R. et al. The use of endophytes to obtain bioactive compounds and their application in biotransformation process // Biotechnology research international. 2011. V. 2011.
- 15 Kostyleva E.V., Sereda A.S., Velikoretskaya I.A., Kurbatova E.I. et al. The use of proteolytic enzymes for the production of protein hydrolysates for food use from secondary raw materials // Questions of nutrition. 2023. V. 92. № 1. P. 116-132.
- 16 Kaur A., Kehinde B.A., Sharma P., Sharma D. et al. Recently isolated food-derived antihypertensive hydrolysates and peptides: a review // Food Chemistry. 2021. V. 346.
- 17 Fotschki B., Juśkiewicz J., Jurgowski A., Amarowicz R. et al. Protein-rich flours from quinoa and buckwheat favourably affect the growth parameters, intestinal microbial activity and plasma lipid profile of rats // Nutrients. 2020. V. 12, № 9.
- 18 Liu J., Song Y., Zhao Q., Wang Y. et al. Effects of tartary buckwheat protein on gut microbiome and plasma metabolite in rats with high-fat diet // Foods. 2021. V. 10. № 10.
- 19 Kaur A., Kehinde B.A., Sharma P., Sharma D. et al. Recently isolated food-derived antihypertensive hydrolysates and peptides: a review // Food Chemistry. 2021. V. 346.
- 20 Zeyneb H., Pei H., Cao X., Wang Y. et al. In vitro study of the effect of quinoa and quinoa polysaccharides on human gut microbiota // Food science & nutrition. 2021. V. 9. № 10. P. 5735-5745.

References

- 1 Cobiac L., Irz X., Leroy P., Requillart V., Scarborough P., Soler L.G. Accounting for consumers' preferences in the analysis of dietary recommendations. Eur. J. Clin. Nutr. 2018. vol. 73. pp. 1033–1039.
- 2 Baturin A.K., Martinchik A.N., Kambarov A.O. Nutrition structure of the Russian population at the turn of the 20th and 21st centuries. Questions of nutrition. 2020. no. 4. pp. 60–70. (in Russian).
- 3 Tutelyan V.A. et al. Nutriom as the direction of the “main blow”: determination of physiological needs for macro- and micronutrients, minor biologically active substances of food. Nutrition Issues. 2020. no. 4. pp. 24–34. (in Russian).
- 4 Zhi Ya., Puming H. China's Rural Residents' Food Consumption Demand and Elasticity Measurements. Statistics and Decision-Making. 2020. vol. 36. no. 03. pp. 52–56.
- 5 Bi W., Song Y., Liu Y., Li Z. et al. Food Consumption Structure and Food Security—Through Mediating Effect Analysis of Agricultural R&D and Agricultural Investment. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022. vol. 19. no. 19. pp. 12524. doi: 10.3390/ijerph191912524
- 6 Dotsenko S.M., Statsenko E.S. Preparation of functional food systems using soy component. SUSU Vestnik Series “Food and Biotechnologies”. 2022. vol. 10. no. 1. pp. 67–75. (in Russian).
- 7 Lingyun D., Wen Y., Wei C. Empirical Study on Food Consumption Structure Based on Household Survey in Rural Xinjiang, China. Acta Scientific Agriculture. 2023. vol. 7. pp. 35–42.
- 8 Koshchaeva O.V., Khmara I.V., Shkredov V.V. The influence of germination on the chemical composition and content of antinutrients in soybean seeds. Scientific journal of KubSAU. 2014. no. 97 (03). Available at: <http://ej.kubagro.ru/2014/03/pdf/89.pdf> (in Russian).
- 9 Dotsenko S.M., Bibik I.V., Kupchak D.V., Guzhel Yu.A. Technological aspects of modeling protein-carbohydrate granulates based on vegetable raw materials of the Far East. In the world of scientific discoveries. 2015. no. 2(62). pp. 288–310. (in Russian).
- 10 Bychkova E.A., Borisova A.V. Soybean protein concentrates: production technologies and application prospects. Polzunovsky Bulletin. 2021. no. 2. pp. 88–94. (in Russian).
- 11 Menis-Henrique M.E.C., Scarton M., Piran M.V.F., Clerici M.T.P.S. Cereal fiber: extrusion modifications for food industry. Current opinion in food science. 2020. vol. 33. pp. 141-148.
- 12 Miller K.B. Review of whole grain and dietary fiber recommendations and intake levels in different countries. Nutrition Reviews. 2020. vol. 78. no. 1. pp. 29-36.
- 13 Barba F.J., Parniak O., Pereira S.A., Wiktor A. et al. Current applications and new opportunities for the use of pulsed electric fields in food science and industry. Food research international. 2015. vol. 77. no. 4. pp. 773-798.
- 14 Pimentel M.R., Molina G., Dionísio A.P., Maróstica Junior M.R. et al. The use of endophytes to obtain bioactive compounds and their application in biotransformation process. Biotechnology research international. 2011. vol. 2011.
- 15 Kostyleva E.V., Sereda A.S., Velikoretskaya I.A., Kurbatova E.I. et al. The use of proteolytic enzymes for the production of protein hydrolysates for food use from secondary raw materials. Questions of nutrition. 2023. vol. 92. no. 1. pp. 116-132.
- 16 Kaur A., Kehinde B.A., Sharma P., Sharma D. et al. Recently isolated food-derived antihypertensive hydrolysates and peptides: a review. Food Chemistry. 2021. vol. 346.
- 17 Fotschki B., Juśkiewicz J., Jurgowski A., Amarowicz R. et al. Protein-rich flours from quinoa and buckwheat favourably affect the growth parameters, intestinal microbial activity and plasma lipid profile of rats. Nutrients. 2020. vol. 12. no. 9.
- 18 Liu J., Song Y., Zhao Q., Wang Y. et al. Effects of tartary buckwheat protein on gut microbiome and plasma metabolite in rats with high-fat diet. Foods. 2021. vol. 10. no. 10.
- 19 Kaur A., Kehinde B.A., Sharma P., Sharma D. et al. Recently isolated food-derived antihypertensive hydrolysates and peptides: a review. Food Chemistry. 2021. vol. 346.
- 20 Zeyneb H., Pei H., Cao X., Wang Y. et al. In vitro study of the effect of quinoa and quinoa polysaccharides on human gut microbiota. Food science & nutrition. 2021. vol. 9. no. 10. pp. 5735-5745.

Сведения об авторах

Дарья В. Купчак к.т.н., доцент, Высшая школа управления природными ресурсами, Тихоокеанский государственный университет, ул. Тихоокеанская, 136, г. Хабаровск, 680042, Россия, daria-kup@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5176-4153>

Сергей М. Доценко д.т.н., профессор, кафедра сервисных технологий и общетехнических дисциплин, Амурский государственный университет, Игнатьевское шоссе, 21, Благовещенск, 675027, Россия, dsm2205@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3427-0888>

Ольга И. Любимова к.т.н., доцент, Высшая школа управления природными ресурсами, Тихоокеанский государственный университет, ул. Тихоокеанская, 136, г. Хабаровск, 680042, Россия, lub.ol@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2347-8635>

Ирина В. Бояринева д.т.н., профессор, базовая кафедра «Биоэкономики и продовольственной безопасности» Инновационного технологического центра Передовой инженерной школы «Института биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», Дальневосточный федеральный университет, б-та Аякс, 10, о. Русский, г. Владивосток, 690922, Россия, boyarinevaiv@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4791-884X>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Daria V. Kupchak Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Higher school of natural resources management, Pacific National University, Tikhookeanskaya Str., 136, Khabarovsk, 680042, Russia, daria-kup@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5176-4153>

Sergey M. Dotsenko Dr. Sci. (Engin.), professor, service technologies and general technical disciplines department, Amur State University, Ignatievskoe Highway, 21, Blagoveshchensk 675027, Russia, dsm2205@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3427-0888>

Olga I. Lyubimova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, Higher school of natural resources management, Pacific National University, Tikhookeanskaya Str., 136, Khabarovsk, 680042, Russia, lub.ol@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2347-8635>

Irina V. Boyarineva Dr. Sci. (Engin.), professor, department of Bioeconomics and Food Security of the Innovative Technological Center of the Advanced Engineering School of the «Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems», Far Eastern Federal University, 10, Ajax, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia, boyarinevaiv@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4791-884X>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 25/01/2024	После редакции 12/02/2024	Принята в печать 27/02/2024
Received 25/01/2024	Accepted in revised 12/02/2024	Accepted 27/02/2024

Получение и применение сухого микропартикулята сывороточных белков в технологии вареных колбас

Елена И. Мельникова	¹	melnikova@molvest.ru	 0000-0002-3474-2534
Екатерина Б. Станиславская	¹	tereshkova-katia@ya.ru	 0000-0002-0955-6238
Максим В. Копылов	¹	kopylov-maks@ya.ru	 0000-0003-2678-2613
Алексей А. Берестовой	¹	berestovoy_1991@mail.ru	 0000-0003-2255-9414
Наталья Н. Антонова	¹	soknat29@ya.ru	
Татьяна Р. Алексеева	¹		

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

Аннотация. Перспективным направлением развития молочной отрасли является глубокая переработка молока с целью получения пищевых ингредиентов для различных отраслей пищевой промышленности. Молочные белки в составе мясных продуктов связывают влагу, укрепляют белковую матрицу и позволяют получить устойчивую водно-жировую эмульсию. Цель работы – получение сухого микропартикулята сывороточных белков для реализации в технологии колбасных изделий. Микропартикулят сывороточных белков, направленный на сушку, характеризовался высоким содержанием белка (в среднем 80 % в пересчете на СОМО). В качестве эффективного способа сушки продуктов высокой вязкости рассматривали применение камерной сушильной установки с конвективным подводом тепла. Исследование микроструктуры восстановленного микропартикулята позволило установить, что структурные элементы продукта не в полной мере диспергируются в водной фазе. В микроскопическом препарате наблюдали присутствие как отдельных мелких частиц микропартикулята, шариков жира, так и пластинчатых комплексов, образованных в результате сушки. С целью разработки рекомендаций по использованию микропартикулированного сывороточного белка при производстве мясoproductов исследовали влияние его дозировки на качественные показатели модельных фаршей. Влаговсвязывающая, влагоудерживающая способность, а также выход готового продукта свидетельствуют о положительном влиянии микропартикулята в количестве до 4 %. Исследуемые образцы готового продукта отличались более нежной консистенцией в сравнении с контролем, не наблюдалось ухудшение вкуса, цвета и запаха при внесении микропартикулята. Физико-химические показатели полученного колбасного изделия соответствовали требованиям нормативной документации: массовая доля жира – 19,2 %, белка – 12 %, хлористого натрия – 2,1 %. Энергетическая ценность составила 223,3 ккал/100 г.

Ключевые слова: микропартикулят, сывороточный белок, сушка, белковые ингредиенты, колбасные изделия.

Preparation and use of dry microparticulate whey proteins in the technology of cooked sausages

Elena I. Melnikova	¹	melnikova@molvest.ru	 0000-0002-3474-2534
Ekaterina B. Stanislavskaya	¹	tereshkova-katia@ya.ru	 0000-0002-0955-6238
Maxim V. Kopilov	¹	kopylov-maks@ya.ru	 0000-0003-2678-2613
Alexey A. Berestovoy	¹	berestovoy_1991@mail.ru	 0000-0003-2255-9414
Natalya N. Antonova	¹	soknat29@ya.ru	
Tatyana R. Alexeeva	¹		

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. A promising direction for the development of the dairy industry is the deep processing of milk to obtain food ingredients for various branches of the food industry. Milk proteins in meat products bind moisture, strengthen the protein matrix and make it possible to obtain a stable water-fat emulsion. The purpose of the work is to obtain dry microparticulate whey proteins for implementation in sausage technology. Microparticulate whey proteins intended for drying were characterized by a high protein content (on average 80% in terms of SNF). The use of a chamber drying unit with convective heat supply was considered as an effective method for drying high-viscosity products. A study of the microstructure of the reduced microparticulate made it possible to establish that the structural elements of the product are not fully dispersed in the aqueous phase. In the microscopic preparation, the presence of both individual small microparticulate particles, fat globules, and lamellar complexes formed as a result of drying was observed. In order to develop recommendations for the use of microparticulated whey protein in the production of meat products, the influence of its dosage on the quality indicators of model minced meat was studied. The moisture-binding and moisture-holding capacity, as well as the yield of the finished product, indicate the positive effect of microparticulate in amounts up to 4%. The studied samples of the finished product were distinguished by a more delicate consistency in comparison with the control; there was no deterioration in taste, color and smell when adding microparticulate. The physical and chemical parameters of the resulting sausage product met the requirements of regulatory documentation: mass fraction of fat - 19.2%, protein - 12%, sodium chloride - 2.1%. The energy value was 223.3 kcal/100 g.

Keywords: microparticulates, whey protein, drying, protein ingredients, sausages.

Для цитирования

Мельникова Е.И., Станиславская Е.Б., Копылов М.В., Берестовой А.А., Антонова Н.Н., Алексеева Т.Р. Получение и применение сухого микропартикулята сывороточных белков в технологии вареных колбас // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 137–143. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-137-143

For citation

Melnikova E.I., Stanislavskaya E.B., Kopilov M.V., Berestovoy A.A., Antonova N.N., Alexeeva T.R. Preparation and use of dry microparticulate whey proteins in the technology of cooked sausages. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 137–143. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-137-143

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Перспективным направлением развития молочной отрасли является глубокая переработка молока с целью получения ингредиентов для различных отраслей пищевой промышленности. Особую ценность представляют белковые ингредиенты, способные не только восполнять дефицит пищевого белка, но и оказывать значимое благоприятное воздействие на функционально-технологические характеристики готовой продукции [1–5].

К сравнительно новым для отечественного пищевого производства относятся микропартикулят сывороточных белков, ингредиент, который получают из молочной сыворотки [6–7] с применением мембранных методов и термомеханической обработки. Микропартикулят сывороточных белков характеризуется уникальными свойствами, имитирующими органолептический профиль молочного жира [8–12]. Известно применение микропартикулятов подсырной и творожной сыворотки как в Российской Федерации, так и за рубежом. Высокую эффективность показало его использование в производстве кисломолочных напитков [13–15], позволяющее модифицировать их реологические свойства; в составе творога и сыра, увеличивая выход продукта [16–17]. Большой интерес приобретает применение микропартикулята для получения мясных продуктов.

В мясной отрасли молочные ингредиенты используются уже давно. В производстве отдельных видов колбасных изделий, в основном вареных, традиционно применяют молочные белки в форме сухого обезжиренного молока, казеина и казеинатов. Их используют не только для обогащения готовой продукции, но и модификации ее органолептических свойств, оптимизации функционально-технологических характеристик (водосвязывающей способности, эмульгирования, реологических параметров). Молочные белки в составе мясных продуктов связывают влагу, укрепляют белковую матрицу и позволяют получить устойчивую водно-жировую эмульсию.

Учитывая актуальность, целью работы было получение сухого микропартикулята сывороточных белков для реализации в технологии колбасных изделий.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования рассматривали микропартикулят сывороточных белков, полученный на основе подсырной сыворотки (производства филиала ПАО Молочный комбинат «Воронежский» Калачеевский сырзавод), модельные фарши с использованием микропартикулята и готовое вареное колбасное изделие.

Для получения микропартикулята пастеризованную очищенную подсырную сыворотку концентрировали с помощью установки ультрафильтрации УУФ-1М19–6 производства компании CHEMA TRON (Германия). Полученный концентрат сывороточных белков подвергали термомеханической обработке. Нагрев осуществляли до температуры $(87 \pm 2)^\circ\text{C}$ с выдержкой 10–15 с. Механическое воздействие реализовали с помощью цифрового лабораторного гомогенизатора HG-15D-Set-A при скорости вращения ротора 15000 об/мин в течение 5 мин [18]. Для сушки микропартикулята сывороточных белков применяли конвективную камерную сушилку Kitfort KT-1917.

В работе использовались современные методы исследования. Массовую долю сухого вещества молочного сырья и микропартикулята оценивали гравиметрическим методом. Определение массовой доли белка проводили методом Кьельдаля. Измерение массовой доли жира осуществляли кислотным методом Гербера. Определение массовой доли золы проводили весовым методом после озоления пробы продукта при $(550 \pm 25)^\circ\text{C}$ [19]. Вязкость измеряли на ротационном вискозиметре Brookfield RVDV-II + Pro. Микроструктуру объектов исследования оценивали с помощью бинокулярного микроскопа Альтами БИО 6. Активную кислотность модельных фаршевых систем определяли потенциометрическим методом. Влагосвязывающую способность (ВСС) оценивали методом прессования. Определение влагоудерживающей способности (ВУС) модельных фаршей было основано на определении разницы между массовым содержанием влаги в фарше и количеством влаги, отделившейся в процессе термической обработки [20].

Выход готовой продукции рассчитывали по формуле:

$$B = \frac{M_1 M_2}{M_1} 100,$$

где B – выход готовой продукции, %; M_1 – масса навески до тепловой обработки, г; M_2 – масса навески после тепловой обработки, г.

Содержание жира в вареном колбасном изделии находили методом экстрагирования из высушенных навесок. Содержание соли определяли методом Мора.

Математическую обработку эксперимента проводили методами математической статистики по данным 5–10 опытов в трехкратной последовательности.

Результаты

При производстве сухих молочных продуктов концентрация компонентов исходного сырья увеличивается пропорционально уменьшению содержания влаги в готовом продукте.

Большое влияние на качество сухого продукта оказывает состав исходного сырья. Микропартикулят сывороточных белков, направленный на сушку, характеризовался высоким содержанием белка (в среднем 80% в пересчете на СОМО) (таблица 1).

Таблица 1.
Состав микропартикулята сывороточных белков
Table 1.
Composition of whey protein microparticulate

Показатель Indicator	Значение Value
Массовая доля сухих веществ,% Mass fraction of dry substances,%	20,2 ± 0,7
Массовая доля жира,% Mass fraction of fat,%	1,3 ± 0,1
Массовая доля общего белка,% Mass fraction of total protein,%	16,2 ± 1,3
Массовая доля лактозы,% Mass fraction of lactose,%	1,0 ± 0,1
Массовая доля золы,% Mass fraction of ash,%	1,7 ± 0,2

Внешне продукт представлял собой однородную густую массу с кремообразной консистенцией. Цвет микропартикулята – белый с кремовым оттенком, вкус и запах чистый, молочный, без посторонних привкусов и запахов. Микропартикулят характеризовался высокой эффективной вязкостью – (63 ± 4) Па·с при градиенте скорости сдвига 3 с^{-1} .

В качестве эффективного способа сушки продуктов высокой вязкости рассматривали применение камерной сушильной установки с конвективным подводом тепла. Сушилка включала горизонтальные лотки с перфорированным дном, вентилятор, систему всасывающих и нагнетательных воздуховодов, соединенных с вентилятором и лотками, подогреватель сушильного агента, байпасный воздуховод для частичного возврата отработанного сушильного агента в сушилку (рисунок 1).

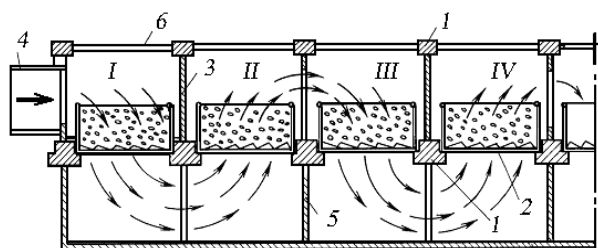


Рисунок 1. Камерная сушилка: 1 – горизонтальная рама; 2 – лотки; 3 – верхняя перегородка; 4 – нагнетательный воздуховод; 5 – нижняя перегородка; 6 – крышка

Figure 1. Chamber dryer: 1 – horizontal frame; 2 – trays; 3 – upper partition; 4 – discharge air duct; 5 – lower partition; 6 – cover

Качественные показатели высушенного продукта представлены в таблице 2.

Таблица 2.
Состав сухого микропартикулята
сывороточных белков

Table 2.
Composition of dry whey protein microparticulate

Показатель Indicator	Значение Value
Массовая доля сухих веществ,% Mass fraction of dry substances,%	95,1 ± 1,2
Массовая доля жира,% Mass fraction of fat,%	4,9 ± 0,7
Массовая доля общего белка,% Mass fraction of total protein,%	6,1 ± 0,8
Массовая доля лактозы,% Mass fraction of lactose,%	76,3 ± 2,1
Массовая доля золы,% Mass fraction of ash,%	4,7 ± 0,6
Массовая доля сухих веществ,% Mass fraction of dry substances,%	8,0 ± 1,0

При производстве сухих молочных продуктов важным является способность полученного порошка к восстановлению. Исследование микроструктуры восстановленного микропартикулята (рисунок 2) позволило установить, что структурные элементы продукта не в полной мере диспергируются в водной фазе.

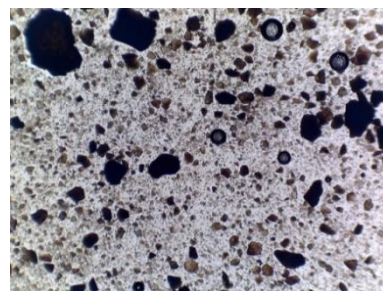


Рисунок 2. Микроструктура восстановленного микропартикулята сывороточных белков, ув. 40 X

Figure 2. Microstructure of the reduced whey protein microparticulate, magnification 40 X

В микроскопическом препарате наблюдали присутствие как отдельных мелких частиц микропартикулята, шариков жира, так и пластинчатых комплексов, образованных в результате сушки. Формирование агрегатов может быть отнесено к недостаткам выбранного способа сушки.

С целью разработки рекомендаций по использованию микропартикулированного сывороточного белка при производстве мясopодуkтов исследовали влияние уровня его введения на качественные показатели модельных фаршей. Перед внесением в модельный фарш микропартикулят подвергали гидратации.

Рецептурный состав модельных фаршевых систем представлен в таблице 3.

Таблица 3.

Рецептурный состав модельно-фаршевых систем с микропартикулированным сывороточным белком

Table 3.

Recipe composition of model minced meat systems with microparticulated whey protein

Образец Sample	Содержание компонента по рецептуре, % Component content according to recipe, %				
	Говядина 1 сорта Beef 1st grade	Свинина полужирная Pork lean	Сухой микропартикулят Dry microparticulate	Вода сверх рецептуры Water above the recipe	Соль поваренная пищевая Table salt
Контроль Control	40	60	-	30	2,5
С использованием микропартикулированного сывороточного белка Using microparticulated whey protein					
1	40	59	1	30	2,5
2	40	58	2	30	2,5
3	40	57	3	30	2,5
4	40	56	4	30	2,5

Фарш представляет собой сложную полидисперсную систему коагуляционного типа. В результате связывания воды белковыми компонентами фарша происходит образование его основы, состоящей из экстрагированных солерастворимых белков, солей, сахаров и других растворимых компонентов. Таким образом, формируется дисперсионная среда, в которой диспергированы тонкоизмельченные частицы жира, мышечной и соединительной тканей. Качество и выход вареных колбасных изделий как дисперсионных систем в значительной степени зависит от развитием процессов влаго- и жиросвязывания при приготовлении фарша, а также его устойчивости при термической обработке [21].

Проведенные исследования влагосвязывающей, влагоудерживающей способности, а также выхода готового изделия свидетельствуют о положительном влиянии микропартикулята в количестве до 4% (рисунок 3–5).

Внесение микропартикулята сывороточных белков в мясные фарши приводило к смещению pH опытных образцов в область более высоких значений, что положительно сказывалось на экстрагируемости миофибриллярных белков и водосвязывающей способности сырых фаршей (таблица 4).

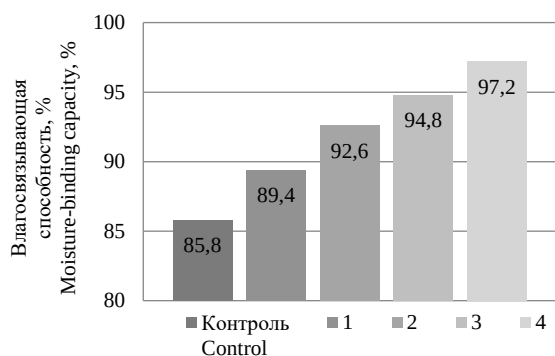


Рисунок 3. Изменение влагосвязывающей способности фарша

Figure 3. Change in the moisture-binding capacity of minced meat

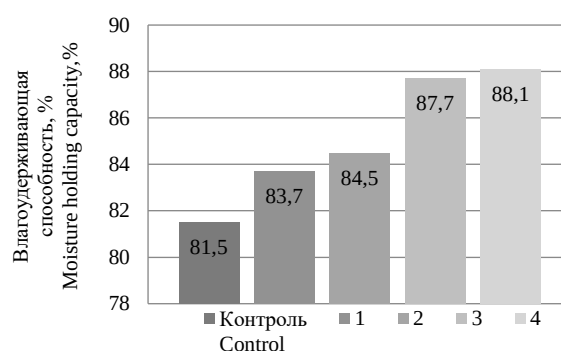


Рисунок 4. Изменение влагоудерживающей способности готового продукта

Figure 4. Change in moisture-holding capacity of the finished product

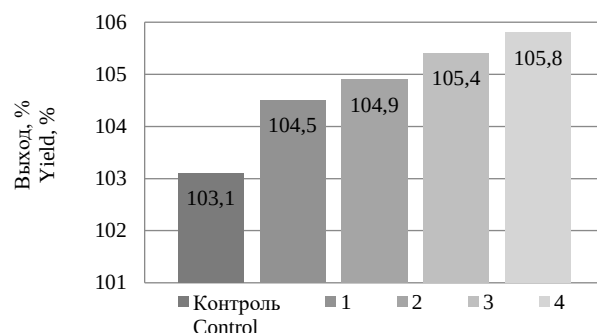


Рисунок 5. Изменение выхода готового продукта

Figure 5. Change in the yield of the finished product

Таблица 4.

Качественные показатели модельных фаршевых систем

Table 4.

Qualitative indicators of model minced meat systems

Показатель Indicator	Значение Value				
	Контроль Control	1	2	3	4
Содержание влаги, % Moisture contents, %	67,25	70,75	71,94	72,3	73,85
pH	5,71	5,83	6,12	6,12	6,14

Исследуемые образцы готового изделия отличались более нежной консистенцией в сравнении с контролем, не наблюдалось ухудшение вкуса, цвета и запаха при внесении микропартикулята (таблица 5).

Таблица 5.

Органолептические показатели готового продукта

Table 5.

Organoleptic characteristics of the finished product

Показатель Indicator	Характеристика показателя для образца Characteristics of the indicator for the sample				
	контроль	1	2	3	4
Внешний вид Appearance	Батоны с чистой, сухой поверхностью Loaves with a clean, dry surface				
Консистенция Consistency	Нежная Tender				
Цвет и вид на разрезе Color and cross-sectional appearance	Розовый, фарш равномерно перемешан Pink, minced meat evenly mixed				
					
Запах и вкус Smell and taste	Свойственный данному виду продукта, без посторонних привкуса и запаха, с ароматом пряностей, в меру соленый Characteristic of this type of product, without foreign taste and smell, with the aroma of spices, moderately salty				
Форма и размер батонов Shape and size of loaves	Прямые или изогнутые батоны длиной от 10 до 15 см Straight or curved loaves from 10 to 15 cm long				
Вязка батонов Knitting loaves	Прямые батоны с поперечными перевязками Straight loaves with cross bandages				

Добавление большего количества белкового ингредиента придавало продукту привкус, не свойственный колбасным изделиям, и не являлось целесообразным.

Физико-химические показатели полученного колбасного изделия соответствовали требованиям нормативной документации: массовая доля жира – 19,2%, белка – 12%, хлористого натрия – 2,1%. Энергетическая ценность составила 223,3 ккал / 100 г.

Заключение

Выполненные исследования позволили получить сухой микропартикулят, характеризующийся высокой массовой долей белка. На основании результатов проведенных исследований

модельных фаршевых систем, а также готового вареного колбасного изделия установлен рациональный уровень введения в рецептуру сухого микропартикулята – 4%.

Введение микропартикулята в рецептуру позволило дополнить действие мясных белков и получить стабильную структуру фарша. Таким образом, использование микропартикулята сывороточных белков в технологии мясных продуктов целесообразно и может помочь свести к минимуму влияние таких факторов, как возраст, порода, пол и упитанность скота, активная кислотность и термическое состояние мяса.

Литература

- 1 Zhao C., Chen N., Ashaolu T.J. Whey proteins and peptides in health-promoting functions – A review // International Dairy Journal. 2022. № 126. P. 105269. doi: 10.1016/j.idairyj.2021.105269
- 2 Augustyniak A., Gottardi D., Giordani B., Gaffey J. et al. Dairy bioactives and functional ingredients with skin health benefits // Journal of Functional Foods. 2023. № 104. P. 105528. doi: 10.1016/j.jff.2023.105528
- 3 Bannikova A.V., Evdokimov I.A. The scientific and practical principles of creating products with increased protein content // Foods and Raw Materials. 2015. № 3 (2). P. 3–12. doi: 10.12737/13114
- 4 Банникова А.В., Евдокимов И.А. Разработка продуктов с повышенным содержанием белка как мера профилактики алиментарных заболеваний населения России // Молочная река. 2021. № 3 (83). С. 54–57.
- 5 Володин Д.Н., Гридин А.С., Евдокимов И.А. Перспективы производства сухих белковых ингредиентов на основе молочного сырья // Молочная промышленность. 2020. № 1. С. 28–30.
- 6 Ahmad T., Aadil R.M., Ahmed H., Rahman U. et al. Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review // Trends in Food Science and Technology. 2019. № 88. P. 361–372. doi: 10.1016/j.tifs.2019.04.003
- 7 Короткий И.А., Плотников И.Б., Мазеева И.А. Современные тенденции в переработке молочной сыворотки // Техника и технология пищевых производств. 2019. № 49 (2). С. 227–234. doi: 10.21603/2074-9414-2019-2-227-234
- 8 Olivares M.L., Shahrivar K., J.de Vicente. Soft lubrication characteristics of microparticulated whey proteins used as fat replacers in dairy systems // Journal of Food Engineering. 2019. № 245. P. 157–165. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2018.10.015
- 9 Ipsen R. Microparticulated whey proteins for improving dairy product texture // International Dairy Journal. 2017. № 67. P. 73–79. doi: 10.1016/j.idairyj.2016.08.009
- 10 Kew B., Holmes M., Stieger M., Sarkar A. Review on fat replacement using protein-based microparticulated powders or microgels: A textural perspective // Trends in Food Science & Technology. 2020. № 106. P. 457–468. doi: 10.1016/j.tifs.2020.10.032.

- 11 Sun C., Liu R., Liang B., Wu T. et al. Microparticulated whey protein-pectin complex: A texture-controllable gel for low-fat mayonnaise // *Food Research International*. 2018. № 108. P. 151–160. doi: 10.1016/j.foodres.2018.01.036.
- 12 Juliana V.C. Silva, James A. O'Mahony Microparticulated whey protein addition modulates rheological and microstructural properties of high-protein acid milk gels // *International Dairy Journal*. 2018. № 78. P. 145–151. doi: 10.1016/j.idairyj.2017.11.013
- 13 Torres I.C., Amigo J.M., Knudsen J.C., Tolkach A. Rheology and microstructure of low-fat yoghurt produced with whey protein microparticles as fat replacer // *International Dairy Journal*. 2018. V. 81. P. 62–71. doi: 10.1016/j.idairyj.2018.01.004
- 14 Melnikova E.I., Stanislavskaya E.B., Losev A.N. et al. Microparticulation of Caseic Whey to Use in Fermented Milk Production // *Foods and Raw Materials*. 2017. № 5 (2). P. 83–93.
- 15 Hossain M K., Keidel J., Hensel O., Diakité M. The impact of extruded microparticulated whey proteins in reduced-fat, plain-type stirred yogurt: Characterization of physicochemical and sensory properties // *LWT*. 2020. № 134. P. 109976. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109976
- 16 Sturaro A., De Marchi M., Zorzi E., Cassandro M. Effect of microparticulated whey protein concentration and protein-to-fat ratio on Caciotta cheese yield and composition // *International Dairy Journal*. 2015. № 48. P. 46–52. doi: 10.1016/j.idairyj.2015.02.003.
- 17 Sánchez-Obando J.–D., Cabrera-Trujillo M.A., Olivares-Tenorio M.–L., Klotz B. Use of optimized microparticulated whey protein in the process of reduced-fat spread and petit-suisse cheeses // *LWT*. 2020. № 120. P. 108933. doi: 10.1016/j.lwt.2019.108933
- 18 Мельникова Е.И., Станиславская Е.Б., Баранова К.Ю. Применение сыровоточных белковых ингредиентов для получения имитаторов молочного жира // *Вестник ВГУИТ*. 2020. Т. 82. № 3. С. 90–95.
- 19 Сучкова Е. П., Белозерова М. С. Методы исследования молока и молочных продуктов. 2015.
- 20 Лаврухина О.И. Современные методы выявления фальсификации мяса и мясной продукции (аналитический обзор) // *Труды Федерального центра охраны здоровья животных*. 2017. №. 15. С. 153-170.
- 21 Криштафович Д.В. Рациональное использование сырья при производстве мясных и мясосодержащих продуктов // *Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики*. 2015. №. 1. С. 171-175.

References

- 1 Zhao C., Chen N., Ashaolu T.J. Whey proteins and peptides in health-promoting functions – A review. *International Dairy Journal*. 2022. no. 126. pp. 105269. doi: 10.1016/j.idairyj.2021.105269
- 2 Augustyniak A., Gottardi D., Giordani B., Gaffey J. et al. Dairy bioactives and functional ingredients with skin health benefits. *Journal of Functional Foods*. 2023. no. 104. pp. 105528. doi: 10.1016/j.jff.2023.105528
- 3 Bannikova A.V., Evdokimov I.A. The scientific and practical principles of creating products with increased protein content. *Foods and Raw Materials*. 2015. no. 3 (2). pp. 3–12. doi: 10.12737/13114
- 4 Bannikova A.V., Evdokimov I.A. Development of products with a high protein content as a measure for the prevention of nutritional diseases of the Russian population. *Molochnaya Reka*. 2021. no. 3 (83). pp. 54–57. (in Russian).
- 5 Volodin D.N., Gridin A.S., Evdokimov I.A. Prospects for the production of dry protein ingredients based on dairy raw materials. *Dairy Industry*. 2020. no. 1. pp. 28–30. (in Russian).
- 6 Ahmad T., Aadil R.M., Ahmed H., Rahman U. et al. Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review. *Trends in Food Science and Technology*. 2019. no. 88. pp. 361–372. doi: 10.1016/j.tifs.2019.04.003
- 7 Korotky I.A., Plotnikov I.B., Mazeeva I.A. Modern trends in whey processing. Equipment and technology of food production. 2019. no. 49 (2). pp. 227–234. doi: 10.21603/2074–9414–2019–2–227–234 (in Russian).
- 8 Olivares M.L., Shahrivar K., J.de Vicente. Soft lubrication characteristics of microparticulated whey proteins used as fat replacers in dairy systems. *Journal of Food Engineering*. 2019. no. 245. pp. 157–165. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2018.10.015
- 9 Ipsen R. Microparticulated whey proteins for improving dairy product texture. *International Dairy Journal*. 2017. no. 67. pp. 73–79. doi: 10.1016/j.idairyj.2016.08.009
- 10 Kew B., Holmes M., Stieger M., Sarkar A. Review on fat replacement using protein-based microparticulated powders or microgels: A textural perspective. *Trends in Food Science & Technology*. 2020. no. 106. pp. 457–468. doi: 10.1016/j.tifs.2020.10.032
- 11 Sun C., Liu R., Liang B., Wu T. et al. Microparticulated whey protein-pectin complex: A texture-controllable gel for low-fat mayonnaise. *Food Research International*. 2018. no. 108. pp. 151–160. doi: 10.1016/j.foodres.2018.01.036
- 12 Juliana V.C. Silva, James A. O'Mahony Microparticulated whey protein addition modulates rheological and microstructural properties of high-protein acid milk gels. *International Dairy Journal*. 2018. no. 78. pp. 145–151. doi: 10.1016/j.idairyj.2017.11.013
- 13 Torres I.C., Amigo J.M., Knudsen J.C., Tolkach A. Rheology and microstructure of low-fat yoghurt produced with whey protein microparticles as fat replacer. *International Dairy Journal*. 2018. vol. 81. pp. 62–71. doi: 10.1016/j.idairyj.2018.01.004
- 14 Melnikova E.I., Stanislavskaya E.B., Losev A.N. et al. Microparticulation of Caseic Whey to Use in Fermented Milk Production. *Foods and Raw Materials*. 2017. no. 5 (2). pp. 83–93.
- 15 Hossain M K., Keidel J., Hensel O., Diakité M. The impact of extruded microparticulated whey proteins in reduced-fat, plain-type stirred yogurt: Characterization of physicochemical and sensory properties. *LWT*. 2020. no. 134. pp. 109976. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109976
- 16 Sturaro A., De Marchi M., Zorzi E., Cassandro M. Effect of microparticulated whey protein concentration and protein-to-fat ratio on Caciotta cheese yield and composition. *International Dairy Journal*. 2015. no. 48. pp. 46–52. doi: 10.1016/j.idairyj.2015.02.003.
- 17 Sánchez-Obando J.–D., Cabrera-Trujillo M.A., Olivares-Tenorio M.–L., Klotz B. Use of optimized microparticulated whey protein in the process of reduced-fat spread and petit-suisse cheeses. *LWT*. 2020. no. 120. pp. 108933. doi: 10.1016/j.lwt.2019.108933
- 18 Melnikova E.I., Stanislavskaya E.B., Baranova K.Yu. Application of whey protein ingredients to obtain milk fat simulators. *Proceedings of VSUET*. 2020. vol. 82. no. 3. pp. 90–95. (in Russian).

19 Suchkova E.P., Belozerova M.S. Methods for studying milk and dairy products. 2015. (in Russian).

20 Lavrukina O.I. Modern methods for identifying counterfeit meat and meat products (analytical review). Proceedings of the Federal Center for Animal Health. 2017. no. 15. pp. 153-170. (in Russian).

21 Kristafovich D.V. Rational use of raw materials in the production of meat and meat-containing products. Fundamental and applied research in the cooperative sector of the economy. 2015. no. 1. pp. 171-175. (in Russian).

Сведения об авторах

Елена И. Мельникова д.т.н., профессор, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, melnikova@molvest.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3474-2534>

Екатерина Б. Станиславская д.т.н., профессор, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, tereshkova-katia@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0955-6238>

Максим В. Копылов к.т.н., доцент, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kopylov-maks@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2678-2613>

Алексей А. Берестовой к.т.н., доцент, кафедра информационной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, berestovoy_1991@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2255-9414>

Наталья Н. Антонова аспирант, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, soknat29@ya.ru

Татьяна Р. Алексеева студент, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Elena I. Melnikova Dr. Sci. (Engin), professor, technology of animal products department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, melnikova@molvest.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3474-2534>

Ekaterina B. Stanislavskaya Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of animal products department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, tereshkova-katia@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0955-6238>

Maxim V. Kopylov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology of fats, processes and apparatus for chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kopylov-maks@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2678-2613>

Alexey A. Berestovoy Cand. Sci. (Engin.), associate professor, information security department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, berestovoy_1991@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2255-9414>

Natalya N. Antonova graduate student, technology of animal products department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, soknat29@ya.ru

Tatyana R. Alexeeva student, technology of animal products department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 15/01/2024	После редакции 02/02/2024	Принята в печать 19/02/2024
Received 15/01/2024	Accepted in revised 02/02/2024	Accepted 19/02/2024

Влияние способа отварочного затирания на состав молодого светлого пива

Инна В. Оселедцева	¹	ivovino@mail.ru	 0000-0002-3093-6577
Мария А. Назаренко	¹	mariyababenkova@mail.ru	 0000-0001-5494-8532
Константин А. Палагин	¹	delfin_09super@mail.ru	 0000-0002-4477-6834
Данил К. Ханин	¹	danilhanin768@gmail.com	 0009-0005-3472-0588
Алла Е. Чусова	²	hycovai@mail.ru	 0000-0003-1237-4870
Артем С. Киселев	²	artemkaksoll21@ya.ru	

¹ Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская 2, г. Краснодар, 350072, Россия

² Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. В настоящее время производители пива сталкиваются с проблемой соотношения цена/качество при работе с отечественным солодом и хмелем. Поэтому актуальным становится изучение технологических приемов, влияющих на сырье, с целью регулирования качественных показателей готовой продукции. Произведен сравнительный анализ аминокислотного состава и ароматических профилей молодого светлого пива из ячменного солода, полученного путем сбраживания низовыми и верховыми дрожжами с использованием различных способов отварочного затирания. Объектами исследования являлись следующие образцы: 1 – затирание отварочным способом с дополнительной β -амилазной паузой, сбраживание низовыми дрожжами расы SafLagerW-34/70; 2 – затирание классическим отварочным способом, сбраживание на низовых дрожжах, расы SafLagerW-34/70 (контроль 1); 3 – затирание классическим отварочным способом, сбраживание на верховых дрожжах, расы SafAleT-58 (контроль 2); 4 – затирание отварочным способом с дополнительной β -амилазной паузой, сбраживание верховыми дрожжами расы SafAleT-58. В полученных образцах были определены массовые концентрации аминокислот, сложных эфиров и высших спиртов, оказывающих влияние на формирование ароматического профиля. В образцах, молодого пива, сброженных лагерными дрожжами расы SafLagerW-34/70, наблюдали, что в образце 1 содержание этилацетата составило 20 мг/дм³, что в 2 раза больше, чем в образце 2. В тоже время, при исследовании образцов молодого пива, полученного сбраживанием на элевых дрожжах SafAleT-58, в образце 4 содержание этилацетата составило 49,1 мг/дм³, что в 2 раза выше контрольного образца 3. На основе полученных результатов были сделаны выводы о возможности применения одноотварочного затирания с дополнительной β -амилазной паузой в технологии светлого пива из ячменного солода.

Ключевые слова: затирание, дрожжи, пиво, солод, качественные показатели.

Effect of the cooking method on the composition of young light beer

Inna V. Oseledtseva	¹	ivovino@mail.ru	 0000-0002-3093-6577
Maria A. Nazarenko	¹	mariyababenkova@mail.ru	 0000-0001-5494-8532
Konstantin A. Palagin	¹	delfin_09super@mail.ru	 0000-0002-4477-6834
Danil K. Khanin	¹	danilhanin768@gmail.com	 0009-0005-3472-0588
Alla E. Chusova	²	hycovai@mail.ru	 0000-0003-1237-4870
Artem S. Kiselev	²	artemkaksoll21@ya.ru	

¹ Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russia

² Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Currently, beer producers are faced with the problem of price/quality ratio when working with domestic malt and hops. Therefore, it becomes relevant to study technological methods that affect raw materials in order to regulate the quality indicators of finished products. A comparative analysis of the amino acid composition and aromatic profiles of young light beer from barley malt, obtained by fermentation with bottom and top yeast using various methods of decoction mashing, was carried out. The objects of the study were the following samples: 1 – mashing by decoction with an additional β -amylase pause, fermentation with grassroots yeast of the SafLagerW 34/70 race; 2 – mashing using the classic decoction method, fermentation with bottom yeast, race SafLagerW 34/70 (control 1); 3 – mashing using the classic decoction method, fermentation with top yeast, race SafAleT 58 (control 2); 4 – mashing by decoction with an additional β -amylase pause, fermentation with top yeast of the SafAleT 58 race. In the resulting samples, the mass concentrations of amino acids, esters and higher alcohols that influence the formation of the aromatic profile were determined. In samples of young beer fermented with lager yeast of the SafLagerW 34/70 race, it was observed that in sample 1 the ethyl acetate content was 20 mg/dm³, which is 2 times more than in sample 2. At the same time, when studying samples of young beer, obtained by fermentation with SafAleT 58 ale yeast, in sample 4 the ethyl acetate content was 49.1 mg/dm³, which is 2 times higher than control sample 3. Based on the results obtained, conclusions were drawn about the possibility of using single-decoction mashing with an additional β -amylase pause in the technology light beer made from barley malt.

Keywords: mashing, yeast, beer, malt, qualitative indicators.

Для цитирования

Оселедцева И.В., Назаренко М.А., Палагин К.А., Ханин Д.К., Чусова А.Е., Киселев А.С. Влияние способа отварочного затирания на состав молодого светлого пива // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 144–154. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-144-154

For citation

Oseledtseva I.V., Nazarenko M.A., Palagin K.A., Khanin D.K., Chusova A.E., Kiselev A.S. Effect of the cooking method on the composition of young light beer. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 144–154. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-144-154

Введение

В настоящее время, в условиях ограниченного импорта сырья для производства пива отрасль стала испытывать определенные трудности. Безусловно, в Российской Федерации, выращивают ячмень и производят солод. Государство уделяет внимание выведению новых сортов ячменя для пивоварения, освоению новых площадей для его выращивания, строительству солодовен и осуществляет субсидирования таких программ. Однако, производители пива, так или иначе, сталкиваются с проблемой соотношения цена/качество при работе с отечественным солодом и хмелем. Поэтому актуальным становится изучение технологических приемов, влияющих на сырье, с целью регулирования качественных показателей готовой продукции.

Затирание при производстве пива является одним из ключевых этапов в технологии. Правильное проведение этого процесса позволяет избежать проблемы с брожением и коллоидной стабильностью напитка, получить продукцию высокого качества [1].

Затирание может проводится настольным и отварочным способами. В настоящее время, инфузионные способы более востребованы, так как программирование процесса при этом является наиболее реализуемым по сравнению с декокционными. В то же время, многие иностранные пивоварни настаивают на установке дополнительного процесса отваривания чтобы иметь возможность решать проблемы с процессом затирания в случаях, когда качество солода не соответствует стандартам. Процесс отваривания по-прежнему используется примерно на 40% всех пивоварен Европы [1].

Классический одноотварочный декокционный процесс отварки пива происходит следующим образом: начинают затирание при температуре 35°C медленно нагревают до 52°C и выдерживают белковую паузу при этой температуре, после этого весь затор нагревают до 63°C и выдерживают мальтозную паузу. Затем отделяют отварку и кипятят её 15–30 мин, после чего добавляют к остатку затора и происходит повышение температуры до 72°C с последующим осахариванием. На следующем этапе затор нагревается до 78°C – «маш аут» (для деактивации ферментов) и перекачивается на фильтрацию [6].

Известен отварочный способ, предложенный Маркусом Херрманном, для пшеничного пива. Его особенность заключается в том, что часть затора нагревается до температуры осахаривания с соблюдением всех пауз, а другая часть затирается с холодной водой и на стадии осахаривания добавляется к основной части, тем самым снижается температура затора до 63°C – мальтозная

пауза (дополнительная β-амилазная пауза). Затем проводят процесс настаивания суслу для осахаривания всего суслу. Согласно исследованиям, проведенным автором, данный метод позволяет добиться более стабильных показателей пенообразования и способен увеличить концентрации сложных эфиров в пшеничном пиве [2].

На наш взгляд, представляет научный и практический интерес исследование влияния дополнительной β-амилазной паузы в процессе отварочного затирания при производстве светлого ячменного пива.

Следует учитывать тот факт, что пшеничное пиво обычно производят при верховом брожении. Известно, что в зависимости от выбора рас верховых или низовых дрожжей в процессе брожения, получают пивоваренную продукцию отличающуюся между собой по физико-химическим и органолептическим свойствам. Поэтому нами, был проведен сравнительный анализ аминокислотного состава и ароматических профилей молодого светлого пива из ячменного солода, полученного путем сбраживания низовыми и верховыми дрожжами с использованием классического одноотварочного и одноотварочного с дополнительной β-амилазной паузой способов затирания.

Материалы и методы

В лабораторных условиях были получены образцы молодого светлого пива из ячменного солода. Затирание проводили следующим образом: часть затора нагревали до 35°C – кислотная пауза, затем до 52°C – белковая пауза, потом до 63°C – мальтозная пауза, затем добавляли часть затора (отварку) температура которой составляет 95°C, благодаря которой температура повышалась до 72°C выдерживали паузу осахаривания, добавляли другую часть затора с холодной водой, тем самым возвращаясь к мальтозной паузе 63°C (дополнительная β-амилазная пауза), нагревали весь затор до 72°C выдерживали при этой температуре, и доводили до 78°C (маш-аут). Контрольные образцы подвергали классическому одноотварочному способу. Фильтрация затора, охмеление и осветление пивоваренного суслу проводилась в одинаковых условиях. Полученные образцы пивоваренного суслу сбраживали на расах дрожжей компании «Fermentis» – «Saflager W34/70» и «SafAle T-58» при температуре брожения 12°C и температуре дображивания 2°C.

Образцы обозначали следующим образом:

Образец 1 – затирание отварочным способом с дополнительной β-амилазной паузой, сбраживание низовыми дрожжами расы SafLagerW-34/70.

Образец 2 – затирание классическим отварочным способом, сбраживание на низовых дрожжах, расы SafLagerW-34/70 (контроль № 1).

Образец 3 – затирание классическим отварочным способом, сбраживание на верховых дрожжах, расы SafAleT-58 (контроль № 2).

Образец 4 – затирание отварочным способом с дополнительной β -амилазной паузой, сбраживание верховыми дрожжами расы SafAleT-58.

Определение аминокислот проводили методом капиллярного электрофореза на анализаторе «Капель 105-М». Ввод пробы происходит при давлении 30 мбар·с. Напряжение электрического поля составляет + 13 кВ. Детектирование осуществляется при длине волны 254 нм.

Определение массовой концентрации высших спиртов и сложных эфиров проводили методом газожидкостной хроматографии на анализаторе «Кристалл 2000М», согласно ГОСТ Р 5793–2017, метод основан на хроматографическом разделении смеси летучих компонентов в продукте и последующем их детектировании пламенно-ионизационном детектором.

Результаты и обсуждения

На первом этапе исследования был проведен сравнительный анализ аминокислотного состава полученных образцов молодого светлого ячменного пива.

Аминокислоты являются основными структурными компонентами белков. Процесс формирования этих веществ начинается с расщепления белков на составные части. Состав аминокислот в пиве зависит от многих факторов, включая вид солода, его способность к высвобождению аминокислот, технологические режимы при затирании, процессы, протекающие при ферментации пивоваренного сусла.

Аминокислоты в процессе брожения используются дрожжами в разной степени. Так, например, к легкоусвояемым аминокислотам относятся: аспарагин, глутамин, серин, треонин, лизин, аргинин, метионин, изолейцин, лейцин; промежуточное усвояемость – валин, гистидин, триптофан, тирозин, фенилаланин, медленная усвояемость – аланин и глицин; практически не усваивается – пролин. От степени использования аминокислот дрожжами в процессе ферментации, зависит их концентрация в готовом пиве [3].

Помимо метаболизма аминокислот, дрожжи способны производить аминокислоты из различных химических веществ-предшественников. Это происходит посредством переаминирования, но обычно, лишь в средах с крайне ограниченными концентрациями аминокислот. Таким путем могут быть получены – валин, изолейцин, фенилаланин, глицин, тирозин, лейцин, гистидин, лизин и аргенин [3].

На рисунке 1 представлен аминокислотный состав образцов молодого пива в зависимости от способа отварочного затирания и расы дрожжей.

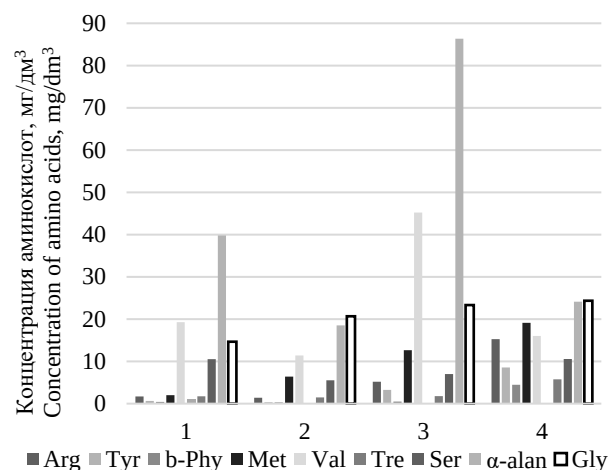


Рисунок 1. Состав аминокислот в молодом светлом пиве, полученном путем сбраживания низовыми и верховыми расами дрожжей, в зависимости от способов затирания

Figure 1. Composition of amino acids in young pale beer obtained by fermentation by lower and higher yeast races, depending on the methods of mashing

Аргинин – алифатическая основная α -аминокислота, является одним из предшественников аминокислоты гистидина, которая отвечает за обогащение пива ароматическими компонентами. Аргинин может служить источником питательных веществ для дрожжей, тем самым влияя на активность их работы.

Эта аминокислота способствует образованию аминов, участвующих в сложении аромата и вкуса пива. В тоже время, аминовые соединения в больших концентрациях в пиве могут быть причиной горечи и неприятного запаха. При концентрации ниже 50 мг/дм³ аргинин не оказывает негативного влияния на органолептические свойства пива [2].

В образцах молодого пива, полученного сбраживанием лагерными дрожжами расы SaflagerW-34/70 в образце 1 содержание аргинина, составило 1,7 мг/дм³, что на 18% ниже, чем в контрольном образце 2.

При сбраживании пивоваренного сусла элевыми дрожжами расы SafAleT-58 в образце 4 концентрация аргинина составила – 15,26 мг/дм³, что в 3 раза выше, чем в контроле 3.

Экспериментальный способ затирания значительно повлиял на рост концентрации аргинина в молодом пиве, сброженном на элевых дрожжах. При этом его содержание в исследуемых образцах не превышало пороговых значений.

Тирозин – это аминокислота, которая обычно присутствует в зерновых культурах, таких как ячмень и пшеница, которые используются при изготовлении пива. Тирозин активно влияет на процесс брожения, являясь одной из аминокислот, необходимых для роста дрожжей.

Низкое содержание тирозина в пивоваренном сусле может привести к дальнейшим проблемам во время ферментации.

Экспериментально установлено (рисунок 1) что, в образце 1 концентрация тирозина составила – 0,63 мг/дм³, что в 2 раза выше контроля 2.

В молодом пиве, полученном путем верхового брожения (образец 4) концентрация тирозина составила 8,6 мг/дм³, что в 2,6 раза выше, чем в контрольном образце 3.

Бета-фенилаланин, как правило, в пиве содержится в достаточно малых количествах и его влияние на качество готовой продукции не существенно [4].

Исследование опытных образцов показало, что при сбраживании лагерными дрожжами SafLagerW-34/70, в экспериментальном образце 1, концентрация бета-фенилаланина составила – 0,43 мг/дм³, что на 19% выше, чем в контрольном образце 2.

В молодом пиве, полученном путем сбраживания верховыми дрожжами расы SafAleT-58, содержание бета-фенилаланина было равно 4,5 мг/дм³, что равно концентрации в контрольном образце 3.

Метионин – аминокислота, влияющая на аромат пива. Так при брожении, она способствует образованию сульфидов, тиолов и альдегидов.

В образце 1, полученном путем сбраживания лагерными дрожжами расы SafLagerW-34/70, концентрация метионина составила – 2 мг/дм³, что в 3 раза меньше чем в контроле 2.

В молодом пиве верхового брожения при экспериментальном способе затирания содержание метионина равнялось 19,1 мг/дм³, что в 3 раза больше, чем в контрольном образце 3.

Можно предположить, что повышение концентрации метионина в экспериментальных образцах, возможно, будет способствовать образованию ароматических веществ и улучшению аромата пива.

Валин – аминокислота, оказывающая влияние на вкус и аромат пива. В небольших концентрациях может придавать пиву аромат фруктов и цветочные ноты, а при повышенном содержании – горечь.

При сбраживании лагерными дрожжами SafLagerW-34/70, в образце 1 концентрация валина составила – 19,3 мг/дм³, что на 41% выше, чем в контрольном образце 2.

При проведении верхового брожения с дрожжами расы SafAleT-58, в экспериментальном образце 4 концентрация валина была в 3 раза выше контроля 3 и составила – 16 мг/дм³.

Пролин – это аминокислота, образующаяся при гидролизе ячменного гордеина. Содержание пролина в пиве оказывает влияние на его вкус. При высоких концентрациях эта аминокислота может придавать пиву более горький и пряный вкус [3].

В образце, полученном при сбраживании лагерными дрожжами SafLagerW-34/70 содержание пролина составило 884 мг/дм³, что на 13% больше чем в контрольном образце 2.

В образце 4, полученном при верховом брожении, концентрация пролина составила 2275 мг/дм³, что на 47% выше, чем в контрольном образце 3.

Достаточно высокие значения этого показателя в молодом пиве можно объяснить тем, что пролин практически не используется дрожжами.

Треонин – влияет на сахаропреобразующую активность дрожжей, являясь прекурсором фермента, который способствует разложению сложных сахаров на простые. Используется дрожжами для синтеза этилового эфира.

Согласно полученным данным в образце 1 концентрация треонина идентифицирована на уровне 1,73 мг/дм³, что на 15% выше концентрации данной аминокислоты в контрольном образце.

При исследовании образцов пива верхового брожения наблюдали более высокие концентрации треонина: в экспериментальном образце 4 концентрация составила 5,8 мг/дм³, что более чем в 3 раза выше концентрации, установленной в контрольном образце 2.

Серин – является незаменимой аминокислотой, которая играет важную роль в организме человека. Серин не оказывает значительного влияния на качество пива. Синтезируется из глюкозы, в процессе брожения.

При исследовании образцов пива, полученного низовым способом, концентрация серина в экспериментальном образце 1 идентифицирована на уровне 10,54 мг/дм³, что в 2 раза превышает уровень, установленный в контрольном образце.

В то же время, в образцах, полученных верховым брожением, концентрация серина в экспериментальном образце 4 составила 10,6 мг/дм³, что на 30% больше, чем в контроле 3.

Известно, что α -аланин – является важным аминокислотным источником для дрожжей во время брожения. Она образуется в процессе разложения белка во время затирания и способствует формированию фруктовых нот и ароматов специй. Аланин играет роль в регулировании pH и цвета пива. Может быть использован для контроля уровня кислотности во время брожения. Является одним из компонентов, улучшающих стабильность и плотность пены [5].

В образцах пива, полученного низовым способом, концентрация α -аланина в экспериментальном образце 1 составила 39,8 мг/дм³, что в 2 раза выше, чем в контрольном образце 2.

В то же время, при исследовании молодого пива, полученного верховым брожением, концентрация α -аланина в опытном образце 4 составила 24,12 мг/дм³, что в 3,3 раза превышает уровень α -аланина в контрольном образце.

Глицин – это аминокислота, которая благоприятно влияет на показатели пива. Глицин обладает сладким вкусом, который может смягчить горечь, делая пиво более приятным для потребления, повышает вязкость и стабильность пены [6].

При исследовании образцов пива, полученного низовым способом, установлено, что концентрация глицина в экспериментальном образце 1 составила 14,6 мг/дм³, что на 30% ниже, по сравнению с контрольным образцом 2.

В образцах, полученных верховым брожением, концентрация глицина в экспериментальном образце 4 составила 24,34 мг/дм³, что сопоставимо с концентрацией, идентифицированной в контрольном образце 3.

Таким образом, согласно полученным экспериментальным данным способ затирания способствует повышению концентрации тирозина, метеонина, валина, треонина, α -аланина в продукции. При чем эта тенденция более характерна для пива верхового брожения. При этом следует отметить тот факт, что полученные результаты согласуются с литературными данными [3]. Из чего следует, что аминокислотный профиль исследуемых образцов является вполне типичным и анализируемый способ затирания не приводит к экстремальному повышению уровня аминокислот.

На следующем этапе исследования был проведен сравнительный анализ ароматических профилей полученных образцов молодого светлого ячменного пива.

Ароматический профиль пива формируется благодаря различным классам химических веществ, таким как высшие спирты, сложные эфиры, жирные кислоты, карбонильные соединения, соединения серы, фурановые соединения, монотерпенолы, C₁₃-ноизопреноиды и летучие фенолы [7].

Ключевыми факторами в технологии пивоварения, влияющими на образование ароматических веществ, являются: выбор сырья – качество хмеля и солода, образование побочных продуктов метаболизма дрожжей, присутствие загрязняющей микрофлоры и трансформации вкуса – ароматических соединений при хранении продукта [8].

При различном качестве солода важным аспектом является правильный выбор технологических режимов затирания. Путем регулирования параметров данного процесса возможно оказывать влияние на физико-химические свойства пива, в том числе на формирование его ароматического профиля.

Согласно исследованиям, проведенным Маркусом Херманном, при производстве пшеничного пива благодаря введению дополнительной β -амилазной паузы происходят следующие процессы: мальтоза, необходимая для реакции, производится первым затором, который осахаривают; фермент мальтаза уже инактивирован в этом заторе, при добавлении части затора с холодным наливом, добавляется и начинает действовать мальтаза, когда затор остывает, происходит мальтазная реакция. Это приводит к сдвигу соотношения сахаров мальтоза: глюкоза в пивоваренном сусле в сторону глюкозы [9].

При этом параллельные исследования процесса брожения искусственных сред показали что, дефицит глюкозы в растворе приводит к экспрессии ацетилалкохолтрансфераз. Увеличение же концентрации глюкозы, отодвигает момент времени возникновения дефицита этого сахара. При такой же или ускоренной пролиферации дрожжевых клеток, основанной на глюкозе, значительная доля дрожжей испытывает эту стрессовую ситуацию, и поэтому может образовываться больше ацетилспирттрансфераз. А клетки дрожжей, образовавшиеся после перехода на мальтозное брожение, не испытывают этой стрессовой ситуации. Поэтому образование сложных эфиров в пиве идет интенсивнее при сдвиге сахаров в пивоваренном сусле в сторону глюкозы [9].

Сложные эфиры являются побочным продуктом алкогольного брожения. Поэтому их качественный и количественный состав во многом зависит от условий проведения процесса брожения и расы дрожжей. Известно, что при использовании рас верховых дрожжей содержание сложных эфиров в пиве выше [9].

В умеренных количествах сложные эфиры способны придать приятный, насыщенный вкус и тонкий аромат готовому продукту. Однако, их избыток может вызывать в пиве чрезмерный фруктовый запах [10].

В основном выделяют две группы эфиров в сброженных напитках. Первая группа представлена ацетатными эфирами (в которых кислотная группа ацетат, а спиртовая группа представляет собой этанол или сложный спирт, полученный в результате метаболизма аминокислот), например этилацетат, изоамилацетат и фенилэтилацетат. Вторая группа – этиловые эфиры (в которых спиртовая группа представляет собой этанол, а кислотная группа представляет собой жирные кислоты), например, этилгексаноат, этилоктанат и этилдеcanoат. Этилацетат обычно присутствует в наибольшей степени, и его концентрация составляет примерно треть всех сложных эфиров в пиве [11].

На рисунке 2 представлено изменение концентрации сложных эфиров в молодом светлом ячменном пиве, обусловленное выбором способа затирания и расы дрожжей.

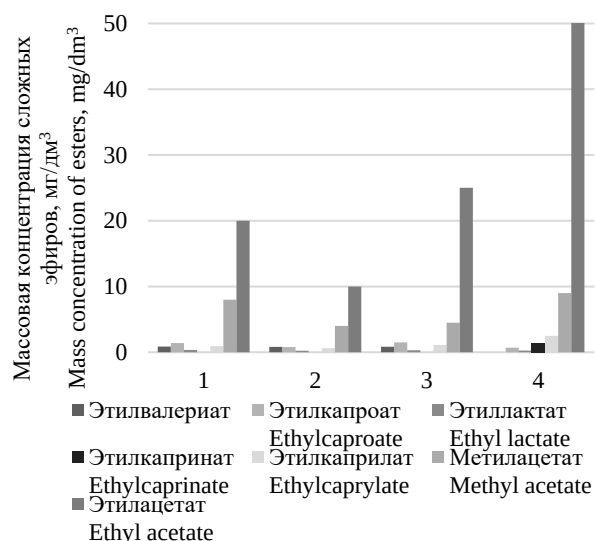


Рисунок 2. Состав сложных эфиров в молодом светлом пиве из ячменного солода в зависимости от расы дрожжей и способов затирания

Figure 2. Composition of esters in young pale barley malt beer depending on yeast race and mashing methods

Экспериментально установлено, что номинальная концентрация эфиров в молодом ячменном пиве, зависит от способа затирания и расы дрожжей.

Этилацетат и метилацетат, идентифицированные в исследуемых образцах, относятся к ацетатным эфирам пива. Концентрации ацетатных эфиров всегда выше в напитках в сравнении с другими летучими эфирами. Образование этих веществ происходит за счет действия ферментов дрожжей и во многом зависит от выбранной расы. Наряду с этим следует учитывать влияние состава сахаров пивоваренного сусла. Так более высокий уровень глюкозы в сусле повышает содержание ацетил-КоА, который является основным субстратом для синтеза ацетатных эфиров [8].

Пороговым значением по аромату для этилацетата в лагерном пиве является 25–30 мг/дм³ [12], в элевом – 50 мг/дм³ [3]. В небольших концентрациях этот сложный эфир придает готовому продукту умеренные фруктовые ноты, легкий аромат леденцов [13]. При содержании этилацетата в пиве выше указанных значений может появиться неприятный запах растворителя, а при многократном превышении – резкий яблочный или уксусный вкус, что считается дефектом качества [14].

В образцах, молодого пива, сброженных лагерными дрожжами расы SafLagerW-34/70, наблюдали, что в экспериментальном образце 1 содержание этилацетата составило 20 мг/дм³, что в 2 раза больше, чем в контрольном образце 2.

В тоже время, при исследовании образцов молодого пива, полученного сбраживанием на элевых дрожжах SafAleT-58, в экспериментальном образце 4 содержание этилацетата составило 49,1 мг/дм³, что в 2 раза выше контрольного образца 3.

Метилацетат в зависимости от концентрации придает пиву фруктовый вкус и аромат. Его пороговая концентрация по аромату составляет 10 мг/дм³ [9].

В молодом пиве низового брожения при экспериментальном способе затирания, в образце 1 содержание метилацетата составило 4 мг/дм³, что в 2 раза больше, чем в контрольном образце 2.

При исследовании образцов пива верхового брожения, в экспериментальном образце 4, концентрация метилацетата составила 9 мг/дм³, что в 2 раза выше, чем в контрольном образце 3.

Увеличение этилацетата и метилацетата в экспериментальных образцах, можно объяснить тем, что вероятнее всего дополнительная β -амилазная пауза, привела к увеличению содержания глюкозы в пивоваренном сусле, что повысило содержание ацетил-КоА и способствовало увеличению их синтеза.

В исследуемых образцах также были идентифицированы сложные эфиры этиловой группы – этилкарпроат, этилкарпринат, этилвалериат, этилкарпроат и этиллактат. Их содержание всегда значительно ниже в сравнении с эфирами ацетатной группы, однако качественный и количественный состав имеет значение для формирования ароматного профиля пива.

Образование сложных эфиров этиловой группы во многом зависит от генома дрожжей, их способности вырабатывать ферменты способствующие синтезу этих веществ. В то же время, с точки зрения качественного состава сложных эфиров, имеют значения реакции этерификации и переэтерификации [12].

К снижению уровня этиловых эфиров в пиве приводит увеличение концентрации жирных кислот в ферментационной среде [12].

При концентрации ниже 5 мг/дм³ этилкарпринат может придать пиву аромат яблок. Так же это вещество способно оказывать влияние на стабильность и сохранность пива [9].

В молодом пиве низового брожения при экспериментальном способе затирания, в образце 1 содержание этилкарприната составило 1 мг/дм³, что почти в 2 раза выше, чем в контрольном образце 2.

При исследовании образцов пива верхового брожения, в экспериментальном образце 4, концентрация этилкарприната составила 2,49 мг/дм³, это в 2,5 раза выше, чем в контрольном образце 3.

Этилкапринат – эфир этилового спирта и капроновой кислоты, при содержании в пиве способен придавать ему аромат сливок и привкус сиропа, что является желательным для некоторых стилей пива. Пороговым значением по аромату для этого вещества является $0,5 \text{ мг/дм}^3$ [14].

Этилкапринат был идентифицирован только в экспериментальном образце 4 в количестве – $1,4 \text{ мг/дм}^3$. Так как концентрация этого вещества превышает пороговое значение по аромату почти в 3 раза, можно заключить, что это окажет значительное влияние на органолептику данного образца.

При содержании этилвалериата в пиве до 5 мг/дм^3 , данный эфир способствует появлению фруктовых, цветочных и сладких ароматов, добавляет сложности и глубины вкуса готовой продукции. Также присутствие этого вещества, может увеличить длительность послевкусыя, делая пиво более сложным и насыщенным [4].

В образцах молодого пива, сброженных низовыми дрожжами расы SafLagerW-34/70, наблюдали следующее: в образце 1 – концентрация этилвалериата составила $0,8 \text{ мг/дм}^3$, что равняется концентрации в контрольном образце 2.

В то же время, в молодом пиве сброженном верховыми дрожжами расы SafAleT-58, в образце 4 этилвалириат находился на уровне менее $0,1 \text{ мг/дм}^3$, а в контроле 3 его концентрация составила $0,85 \text{ мг/дм}^3$.

Этилкапроат – это эфир капроновой кислоты, образующийся в результате брожения, который имеет аромат анисовых семян, при повышении концентрации проявляются яблочные ноты во вкусе и аромате. Пороговое значение по аромату составляет $0,3 \text{ мг/дм}^3$ [4, 15].

При исследовании образцов, полученных низовым способом с применением дрожжей расы SafLagerW-34/70, концентрация этилкапроата в образце 1 составила $1,4 \text{ мг/дм}^3$, что более чем наполовину выше по сравнению с контролем 2.

В образцах молодого пива, полученных верховым брожением с применением дрожжей расы SafAleT-58, концентрация этилкапроата в образце 4 составила $1,54 \text{ мг/дм}^3$, что так же более, чем на половину выше по сравнению с контрольным образцом 3.

Этиллактат – сложный эфир, который в небольших количествах, может вносить в аромат пива тона сливок и участвовать в сложении вкуса. Пороговое значение по аромату составляет $0,9 \text{ мг/дм}^3$ [14].

В молодом пиве, полученным сбраживанием низовыми дрожжами расы SafLagerW-34/70, концентрация этиллактата составила $0,35 \text{ мг/дм}^3$, что на 50% выше, чем в контроле 2.

В молодом пиве верхового брожения, с применением дрожжей расы SafAleT-58,

в образце 4 содержание этиллактата составило $0,26 \text{ мг/дм}^3$, что соответствует концентрации в контрольном образце 3.

Таким образом, при исследовании качественного и количественного состава этиловой группы сложных эфиров, можно заключить, что в элевых образцах данные компоненты накапливаются в более высоких концентрациях, это согласуется с литературными данными [15]. В то же время при сравнении контрольных и опытных образцов, было выявлено, что на концентрации этиловых сложных эфиров способ затирания оказывал незначительное влияние, за исключением этилкапроата, этилкаприлата и этилкаприната.

Известно, что высшие спирты являются компонентами, оказывающими значительное влияние на ароматический профиль пива. Их образование может происходить двумя путями: катаболическим и анаболическим. Первый путь, также называемый «путь Эрлиха» предусматривает, что пивные дрожжи, поглощают аминокислоты, присутствующие в пивоваренном сусле, отщепляют аминогруппу для включения ее в собственную структуру, при этом оставшаяся часть молекулы трансаминируется с образованием α -кетокислоты с последующим декарбоксилированием и восстановлением, в результате чего образуется спирт, содержащий на один атом углерода меньше, чем потребленная аминокислота. Таким образом, например, из изолейцина образуется изоамиловый спирт [12]. Анаболический путь связан с биосинтезом аминокислот. При этом предпоследней реакцией является образование соответствующей α -кетокислоты из пирувата и ацетил-КоА. Затем, происходит декарбоксилирование и восстановление этих α -кетокислот с образованием высших спиртов [12, 16].

На содержание в пиве высших спиртов влияет ряд факторов: раса дрожжей; температура брожения, так как при ее повышении ускоряется поглощение аминокислот дрожжевыми клетками и усиливается синтез высших спиртов; содержание свободного аминного азота в сусле.

На рисунке 3 представлено изменение концентрации высших спиртов в молодом светлом ячменном пиве, обусловленное выбором способа затирания и расы дрожжей.

Изоамиловый спирт образуется в результате метаболизма дрожжевых клеток в процессе брожения. Поэтому его содержание в пиве во многом зависит от аминокислотного состава сусла, расы дрожжей, температуры брожения [16]. Он имеет специфический аромат, который может влиять на органолептические свойства пива. Пороговое значение по аромату для данного вещества составляет $50\text{--}60 \text{ мг/дм}^3$. В тоже время в зависимости от стиля пива его содержание

может колебаться в пределах от 25 до 120 мг/дм³, последнее более характерно для элей. При небольших концентрациях изоамиловый спирт придает готовому пиву фруктовые ноты, в частности аромат банана [12, 16, 17]. Однако в количествах значительно превышающих вышеуказанные значения, может придать пиву спиртовой и винный запах [16].

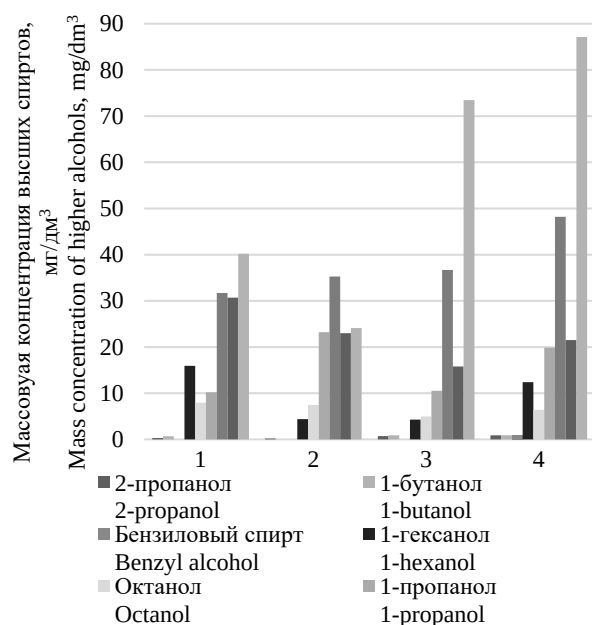


Рисунок 3. Состав высших спиртов в молодом светлом пиве из ячменного солода в зависимости от расы дрожжей и способов затириания

Figure 3. Composition of higher alcohols in young light beer from barley malt depending on yeast race and mashing methods

В образцах молодого пива, полученного низовым способом брожения с применением дрожжей расы SafLager W-34/70, концентрация изоамилового спирта в образце 1 составила 40,2 мг/дм³, существенно выше контрольного образца 2.

В образцах, полученных верховым способом брожения с применением дрожжей расы SafAle T-58, концентрация изоамилового спирта составила 87 мг/дм³, что несколько превышает уровень концентрации образца 3.

Изобутанол производится дрожжами первоначально в цитоплазме по пути Эрлиха или путем анаболического синтеза внутри митохондрий. Этот высший спирт способен придавать пиву запах растворителя. Пороговое значение по аромату изобутанола составляет 100 мг/дм³ [16].

Согласно проведенным исследованиям при низовом брожении концентрация изобутанола в образце 1 составила 30,7 мг/дм³, что на 30% выше, контроля.

При использовании расы дрожжей SafAle T-58 в образце 4 изобутанол содержался в количестве 21,5 мг/дм³, что на 36% больше, чем в образце 3.

Исходя из полученных данных можно заключить, что содержание изоамилового и изобутилового спиртов в экспериментальных образцах повысилось, что вероятнее всего может быть связано с изменением аминокислотного состава сусла при введении дополнительной β -амилазной паузы, в результате которой увеличилось количество аминокислот – прекурсоров.

Известно, что β -фенилэтанол – это ароматический спирт, содержание которого может влиять на качество пива. В небольших количествах β -фенилэтанол придает пиву медовый аромат или лёгкий аромат розы. Однако слишком высокие концентрации данного компонента могут привести к появлению аромата гвоздики, что является нетипичным для лагерного пива, однако может иметь место при производстве верхового пива. Предельно допустимая концентрация, не оказывающая негативного действия на аромат, для лагерей составляет порядка 25 мг/дм³ [5].

В образцах, полученных низовым брожением, с применением дрожжей расы SafLager W-34/70, содержание β -фенилэтанола (в образце 1) составило 31,7 мг/дм³, что несколько превышает уровень концентрации в контрольном образце 2.

В образцах пива, полученного верховым способом брожения (в образце 4) концентрация β -фенилэтанола составила 48,2 мг/дм³, что уже существенно выше, чем в контрольном образце 3.

Опираясь на полученные экспериментальные данные можно предположить, что опытные образцы 1 и 4 имеют потенциал формирования выраженных медовых оттенков в готовом продукте, что приветствуется для элевого пива, но нежелательно для лагерных стилей.

Известно, что 1-пропанол является одним из многочисленных соединений, которые также могут быть образованы в процессе брожения, он является побочным продуктом метаболизма дрожжей. Содержание 1-пропанола в пиве может придать ему слегка сладковатые тона в аромате. В элях 1-пропанол может содержаться в больших количествах, чем в лагерах. Предельно допустимая концентрация, не влияющая отрицательно на вкусовые характеристики пива, составляет до 100 мг/дм³ [18].

В образцах молодого пива, сброженных низовыми дрожжами расы SafLager W-34/70 наблюдали следующее: в образце 1 концентрация 1-пропанола составила – 10,2 мг/дм³, что в 2 раза выше контрольного образца 2. При этом пороговое значение по аромату для низового пива составляет 50 мг/дм³.

В то же время, в молодом пиве сброженном верховыми дрожжами расы SafAle T-58, концентрация 1-пропанола в образце 4 составила 19,8 мг/дм³, что в 2 раза выше контрольного образца 3.

Согласно приведенным данным, можно констатировать, что применение при затирании дополнительной β -амилазной паузы приводит к увеличению концентраций 1-пропанола, что, возможно, связано с трансформацией аминокислотного состава пивоваренного сусла экспериментальных образцов.

Октанол – органическое вещество, относящееся к классу жирных спиртов. В зависимости от концентрации, он может придавать пиву свежий фруктовый аромат, сладковатый, слегка ореховый вкус. Октанол также способен выполнять роль антиоксиданта и консерванта – предотвращать окисление пива и продлять срок его годности [4].

При исследовании образцов, полученных низовым способом с применением дрожжей расы SafLagerW-34/70, концентрация октанола в образце 1 составила 8 мг/дм³, что несколько выше по сравнению с контролем 2.

В то же время, в образцах молодого пива, полученных верховым брожением с применением дрожжей расы SafAleT-58, концентрация октанола в образце 4 составила 6,4 мг/дм³, что более чем на 20% выше по сравнению с контрольным образцом 3.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что экспериментальный способ затирания не оказывает существенного влияния на изменение концентрации октанола в пиве.

Содержание 1-гексанола в пиве в большей степени зависит от качества сырья, в том числе сорта хмеля. Могут оказывать влияния и режимы кипячения сусла с хмелем. При концентрации более 75 мг/дм³ гексанол может оказывать негативное влияние на качественные свойства пива: придавать запах и привкус муки, горечь во вкусе, снижать стабильность пены и сроки хранения продукта [4.16]. При более низких концентрациях 1-гексанол может придавать напитку легкие фруктовые ноты, аромат свежескошенной травы [19].

При исследовании образцов пива, полученного низовым брожением с применением дрожжей расы SafLagerW-34/70, концентрация 1-гексанола в образце 1 составила 15,9 мг/дм³, что в 3,5 раза выше, чем в контрольном образце 2.

В образцах, полученных с помощью верхового брожения и с применением дрожжей расы SafAleT-58, концентрация в образце 4 составила 12,4 мг/дм³, что в 3 раза выше, чем в контрольном образце 3.

Количество 1-гексанола в исследуемых образцах значительно увеличилось, однако не превысило порогового значения (75 мг/дм³),

что может свидетельствовать о его положительном влиянии на ароматический профиль молодого пива.

Бензиловый спирт – простейший ароматический спирт, в пиве имеет сладковатый цветочный аромат, похожий на жасмин. Предельно допустимая концентрация составляет 10 мг/дм³ [18].

Бензиловый спирт был идентифицирован на уровне выше 0,1 мг/дм³ только в экспериментальном образце 4, и его концентрация составила 0,9 мг/дм³.

1-бутанол – высший спирт, в малых количествах придает глубину и сложность аромату пива, но в больших концентрациях, может давать готовому продукту неприятные запахи, напоминающие резину или растворитель [18–20].

В образцах молодого пива, сброженном низовыми дрожжами расы SafLagerW-34/70, в экспериментальном образце 1 концентрация 1-бутанола составила 0,7 мг/дм³, в контрольном образце 1-бутанол не был идентифицирован.

При брожении верховыми дрожжами расы SafAleT-58, концентрация 1-бутанола в образцах 3 и 4 была одинаковой и составила 0,9 мг/дм³.

2-Пропанол (изопропиловый спирт) – побочный продукт ферментации дрожжей, может оказывать влияние на вкус пива, придавая аромат алкоголя, вызывая чувство жжения на языке. Пороговое значение по аромату изопропилового спирта составляет 0,5 мг/дм³ для низовых дрожжей и 1 мг/дм³ для верхового брожения [18].

В молодом пиве, полученном сбраживанием низовыми дрожжами расы SafLagerW-34/70, концентрация 2-пропанола составила 0,3 мг/дм³, что немного выше, чем в контроле 2.

В молодом пиве верхового брожения, с применением дрожжей расы SafAleT-58, в образце 4 содержание 2-пропанола составило 0,9 мг/дм³, что несколько превышает его концентрацию в контрольном образце 3.

Заключение

На основании результатов проведенных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1) Экспериментально, установлено, что применение дополнительной β -амилазной паузы в процессе одноотварочного затирания способствует увеличению содержания ряда аминокислот, являющихся прекурсорами ароматобразующих компонентов, это в свою очередь оказывает влияние на формирование ароматического профиля.

2) Показано, что дополнительная β -амилазная пауза приводит к увеличению концентрации сложных эфиров и высших спиртов

в молодом пиве, полученном путем сбраживания как верховыми так и низовыми дрожжами.

3) Экспериментально доказано, что оптимальное соотношение концентраций сложных эфиров и высших спиртов формируется при реализации в исследуемых условиях варианта верхового брожения.

5) Установлено, что применение отварочного затирания с дополнительной β -амилазной паузой при производстве светлого пива оказывает существенное влияние на состав ароматических компонентов, что в свою очередь позволяет регулировать и корректировать при необходимости ароматический профиль пива.

Литература

- 1 Bettenhausen H.M. et al. Influence of malt source on beer chemistry, flavor, and flavor stability // Food research international. 2018. V. 113. P. 487-504.
- 2 Кобелев К.В., Гернет М.В., Грибова И.Н., Лазарева И.В. Исследование влияния состава сырья на качество и безопасность готового пива. Часть III. Влияние состава зернового и сахаросодержащего сырья на содержание органических кислот и углеводов в пиве // Пиво и напитки. № 4. 2015. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vliyaniya-sostava-ishodnogo-syrya-na-kachestvo-i-bezopasnost-gotovogo-piva-chast-iii-vliyanie-sostava-zernovogo-i/viewer>
- 3 Koller H., B. Perkins L. Brewing and the Chemical Composition of Amine-Containing Compounds in Beer // Foods 2022. V. 11. № 3. doi: 10.3390/foods11030257
- 4 Меледина Т.В., Дедегкаев А.Т., Афонин Д.В. Качество пива: стабильность вкуса и аромата, коллоидная стойкость, дегустация. Санкт-Петербург: Профессия, 2011. 220 с.
- 5 Нарцисс Л. Краткий курс пивоварения. СПб.: Профессия, 2007. 640 с.
- 6 Кунце В., Мит Г. Технология солода и пива. СПб.: Профессия, 2001. 912 с.
- 7 Rodrigues F., Caldeira M., Câmara J.S. Development of a dynamic headspace solid-phase microextraction procedure coupled to GC-qMSD for evaluation the chemical profile in alcoholic beverages // Analytica Chimica Acta. 2008. V. 609. №. 1. P. 82-104.
- 8 Olaniran A.O., Hiralal L., Mokoena M.P., Pillay B. et al. Flavour-active volatile compounds in beer: production, regulation and control // Journal of the Institute of Brewing. 2017. V. 123. №. 1. P. 13-23.. doi: 10.1002/jib.389
- 9 Baiano A. Craft beer: An overview // Comprehensive reviews in food science and food safety. 2021. V. 20. №. 2. P. 1829-1856. doi: 10.1111/1541-4337.12693
- 10 Rodrigues F., Caldeira M., Camara J.S. Development of a dynamic headspace solid-phase microextraction procedure coupled to GC-qMSD for evaluation the chemical profile in alcoholic beverages // Anal. Chim. Acta. 2008. V. 609. P. 82-104.
- 11 Saerens S.M.G., Delvaux F., Verstrepen K.J., van Dijck P. et al. Parameters affecting ethyl ester production by *Saccharomyces cerevisiae* during fermentation // Appl. Environ. Microbiol. 2008. V. 74. P. 454-461.
- 12 Pires E.J., Teixeira J.A., Brányik T., Vicente A.A. Yeast: The soul of beer's aroma—A review of flavour-active esters and higher alcohols produced by the brewing yeast // Applied microbiology and biotechnology. 2014. V. 98. P. 1937-1949. URL: easchgate.net/publication/259566009
- 13 Betancur M.I., Motoki K., Spence C., Velasco C. Factors influencing the choice of beer: A review // Food Research International. 2020. V. 137. P. 109367.
- 14 Ferreira I.M., Guido L.F. Impact of wort amino acids on beer flavour: A review // Fermentation. 2018. V. 4. №. 2. P. 23. doi: 10.3390/fermentation4020023
- 15 Humia B.V., Santos K.S., Barbosa A.M., Sawata M. et al. Beer molecules and its sensory and biological properties: A review // Molecules. 2019. V. 24. №. 8. P. 1568. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31009997/>
- 16 Зипаев Д.В., Никитченко Н.В., Кашаев А.Г., Платонов И.А. и др. Исследование показателей качества светлого пива, полученного с использованием солода из тритикале // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2015. №. 5-6. С. 77-79.
- 17 Харламова Л.Н., Волкова Т.Н., Лазарева И.В., Селина И.В. и др. Исследование содержания летучих компонентов и глицерина в пиве и пивных напитках // Пищевая промышленность. 2020. № 8. С. 48-51.
- 18 Пономарева О.И., Борисова Е.В., Прохорчик И.П. Молочнокислые бактерии рода *Lactobacillus* в формировании вкусоароматического профиля кислых элей // Техника и технология пищевых производств. 2018. Т. 48. №. 2. С. 100-108. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/molochnokislye-bakterii-roda-lactobacillus-v-formirovanii-vkusoaromaticheskogo-profila-kislyh-eley/viewer>
- 19 Сайфулина Р.Ф., Матушкина Е.В. Исследование качества светлого пива отечественного и импортного производства // Молодежь и наука. 2015. №. 1. С. 21-21.
- 20 Жуков Р.Б. Физико-химические показатели качества пива // Инновационные технологии пищевых производств. 2020. С. 172-175.

References

- 1 Bettenhausen H.M. et al. Influence of malt source on beer chemistry, flavor, and flavor stability. Food research international. 2018. vol. 113. pp. 487-504.
- 2 Kobleev K.V., Gernet M.V., Gribkova I.N., Lazareva I.V. Study of the influence of the composition of raw materials on the quality and safety of finished beer. Part III. Influence of the composition of grain and sugar-containing raw materials on the content of organic acids and carbohydrates in beer. Beer and drinks. 2015. no. 4. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vliyaniya-sostava-ishodnogo-syrya-na-kachestvo-i-bezopasnost-gotovogo-piva-chast-iii-vliyanie-sostava-zernovogo-i/viewer>
- 3 Koller H., B. Perkins L. Brewing and the Chemical Composition of Amine-Containing Compounds in Beer. Foods 2022. vol. 11. no. 3. doi: 10.3390/foods11030257
- 4 Meledina T.V., Dedegkaev A.T., Afonin D.V. Beer quality: stability of taste and aroma, colloidal stability, tasting. St. Petersburg, Profession, 2011. 220 p. (in Russian).
- 5 Narcissus L. A short course in brewing. St. Petersburg, Profession, 2007. 640 p. (in Russian).
- 6 Kuntze V., Mit G. Technology of malt and beer. St. Petersburg, Profession, 2001. 912 p. (in Russian).
- 7 Rodrigues F., Caldeira M., Câmara J.S. Development of a dynamic headspace solid-phase microextraction procedure coupled to GC-qMSD for evaluation the chemical profile in alcoholic beverages. Analytica Chimica Acta. 2008. vol. 609. no. 1. pp. 82-104.

- 8 Olaniran A.O., Hiralal L., Mokoena M.P., Pillay B. et al. Flavour-active volatile compounds in beer: production, regulation and control. *Journal of the Institute of Brewing*. 2017. vol. 123. no. 1. pp. 13-23. doi: 10.1002/jib.389
- 9 Baiano A. Craft beer: An overview. *Comprehensive reviews in food science and food safety*. 2021. vol. 20. no. 2. pp. 1829-1856. doi: 10.1111/1541-4337.12693
- 10 Rodrigues F., Caldeira M., Camara J.S. Development of a dynamic headspace solid-phase microextraction procedure coupled to GC-qMSD for evaluation the chemical profile in alcoholic beverages. *Anal. Chim. Acta*. 2008. vol. 609. pp. 82–104.
- 11 Saerens S.M.G., Delvaux F., Verstrepen K.J., van Dijck P. et al. Parameters affecting ethyl ester production by *Saccharomyces cerevisiae* during fermentation. *Appl. Environ. Microbiol.* 2008. vol. 74. pp. 454–461.
- 12 Pires E.J., Teixeira J.A., Brányik T., Vicente A.A. Yeast: The soul of beer's aroma—A review of flavour-active esters and higher alcohols produced by the brewing yeast. *Applied microbiology and biotechnology*. 2014. vol. 98. pp. 1937-1949. Available at: researchgate.net/publication/259566009
- 13 Betancur M.I., Motoki K., Spence C., Velasco C. Factors influencing the choice of beer: A review. *Food Research International*. 2020. vol. 137. pp. 109367.
- 14 Ferreira I.M., Guido L.F. Impact of wort amino acids on beer flavour: A review. *Fermentation*. 2018. vol. 4. no. 2. pp. 23. doi: 10.3390/fermentation4020023
- 15 Humia B.V., Santos K.S., Barbosa A.M., Sawata M. et al. Beer molecules and its sensory and biological properties: A review. *Molecules*. 2019. vol. 24. no. 8. pp. 1568. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31009997/>
- 16 Zipaev D.V., Nikitchenko N.V., Kashaev A.G., Platonov I.A. et al. Study of quality indicators of light beer obtained using malt from triticale. *News of higher educational institutions. Food technology*. 2015. no. 5-6. pp. 77-79. (in Russian).
- 17 Kharlamova L.N., Volkova T.N., Lazareva I.V., Selina I.V. et al. Study of the content of volatile components and glycerol in beer and beer drinks. *Food Industry*. 2020. no. 8. pp. 48–51. (in Russian).
- 18 Ponomareva O.I., Borisova E.V., Prokhorchik I.P. Lactic acid bacteria of the genus *Lactobacillus* in the formation of the flavor and aroma profile of sour ales. *Equipment and technology of food production*. 2018. vol. 48. no. 2. pp. 100-108. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/molochnokislye-bakterii-roda-lactobacillus-v-formirovanii-vkusooaromaticheskogo-profilya-kislyh-eley/viewer> (in Russian).
- 19 Saifullina R.F., Matushkina E.V. Study of the quality of light beer of domestic and imported production. *Youth and Science*. 2015. no. 1. pp. 21-21. (in Russian).
- 20 Zhukov R.B. Physico-chemical indicators of beer quality. *Innovative technologies of food production*. 2020. pp. 172-175. (in Russian).

Сведения об авторах

Инна В. Оселедцева д.т.н., доцент, кафедра технологии виноделия и броdistильных производств им. профессора А.А. Мерзжаниана, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская 2, г. Краснодар, 350072, России, ivovino@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3093-6577>

Мария А. Назаренко к.т.н., доцент, кафедра технологии виноделия и броdistильных производств имени профессора А.А. Мерзжаниана, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская 2, г. Краснодар, 350072, России, maryababenkova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5494-8532>

Константин А. Палагин аспирант, кафедра технологии виноделия и броdistильных производств им. профессора А.А. Мерзжаниана, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская 2, г. Краснодар, 350072, России, delfin_09super@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4477-6834>

Данил К. Ханин магистрант, кафедра технологии виноделия и броdistильных производств имени профессора А.А. Мерзжаниана, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская 2, г. Краснодар, 350072, России, daniilhanin768@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-3472-0588>

Алла Е. Чусова к.т.н., доцент, кафедра технологии броdistильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, hycovai@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1237-4870>

Артем С. Киселев магистрант, кафедра технологии броdistильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, artemkaksoll21@ya.ru

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Inna V. Oseledtseva Dr. Sci. (Engin.), associate professor, winemaking and fermentation technology named after prof. A.A. Merzhanian department, Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russia, ivovino@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3093-6577>

Maria A. Nazarenko Cand. Sci. (Engin.), associate professor, wine-making and fermentation technology named after prof. A.A. Merzhanian department, Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russia, maryababenkova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5494-8532>

Konstantin A. Palagin graduate student, winemaking and fermentation technology named after prof. A.A. Merzhanian department, Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russia, delfin_09super@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4477-6834>

Danil K. Khanin master student, winemaking and fermentation technology named after prof. A.A. Merzhanian department, Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russia, daniilhanin768@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-3472-0588>

Alla E. Chusova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, hycovai@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1237-4870>

Artem S. Kiselev master student, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, artemkaksoll21@ya.ru

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 27/12/2023	После редакции 18/01/2024	Принята в печать 10/02/2024
Received 27/12/2023	Accepted in revised 18/01/2024	Accepted 10/02/2024

Технологические особенности созревания вина и пива в емкостях из нержавеющей стали и дубовых бочках

Дмитрий А. Казарцев	¹	kda_79@mail.ru	 0000-0001-6597-2327
Андрей И. Ключников	¹	kaivanov@mail.ru	 0009-0009-7333-6967
Андрей И. Галкин	¹	galkin-galkin87@mail.ru	 0000-0002-8161-0040
Александр С. Муравьев	²	hntrun@mail.ru	 0000-0002-5989-0752
Инна В. Новикова	²	noviv@list.ru	 0000-0002-2360-5892
Елена А. Коротких	²	dobruly@bk.ru	 0000-0002-5951-7085

1 Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, ул. Земляной вал, д. 73, г. Москва, 109004, Россия

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

Аннотация. При традиционном производстве пива и вина в течение нескольких веков использовались в качестве емкостей для технологического этапа созревания дубовые бочки. В современном промышленном производстве работа с дубовыми бочками не только снижает производительность, но и исключает возможность обеспечения стабильности качества. Перед пивоварами и виноделами периодически возникает необходимость разработки новых продуктов с особыми органолептическими характеристиками, такими как легкие тона дубовой выдержки во вкусе и аромате. Это возможно достичь за счет применения дубовых бочек, и невозможно с проведением процесса созревания в емкостях из нержавеющей стали. На технологическом этапе созревания пива и вина происходит окончательное формирования вкуса и аромата продукта, поэтому крайне важно правильно подобрать как технологические режимы так и необходимые характеристики оборудования. В данной статье рассмотрены особенности процесса созревания пива и вина в емкостях из нержавеющей стали и дубовых бочках. Подробно описаны изменения пива и вина, которые происходят в ходе процесса созревания с учетом материала, из которого изготовлена емкость. Дано подробное описание свойств материалов, из которых изготавливается оборудование для процесса созревания пива и вина и их влияние на формирование профиля продукта. Описаны цели процессов созревания пива и вина. Проведено сравнение современных материалов с традиционными, которые применялись несколько десятков лет назад, а также их влияние на органолептические показатели готового продукта. Выявлены достоинства и недостатки каждого из материалов, которые используются при производстве оборудования для созревания пива и вина.

Ключевые слова: пиво, вино, созревание, емкости, органолептические показатели, технология.

Technological features of wine and beer maturation in stainless steel tanks and oak barrels

Dmitry A. Kazartsev	¹	kda_79@mail.ru	 0000-0001-6597-2327
Andrey I. Klyuchnikov	¹	kaivanov@mail.ru	 0009-0009-7333-6967
Andrey I. Galkin	¹	galkin-galkin87@mail.ru	 0000-0002-8161-0040
Aleksandr S. Muravev	²	hntrun@mail.ru	 0000-0002-5989-0752
Inna V. Novikova	²	noviv@list.ru	 0000-0002-2360-5892
Elena A. Korotkikh	²	dobruly@bk.ru	 0000-0002-5951-7085

1 K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management, 73 Zemlyanoy Val street, Moscow, 109004, Russia

2 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. In the traditional production of beer and wine, oak barrels have been used for several centuries as containers for the technological stage of maturation. In modern industrial production, working with oak barrels not only reduces productivity, but also eliminates the possibility of ensuring quality stability. Brewers and winemakers periodically face the need to develop new products with special organoleptic characteristics, such as light tones of oak aging in taste and aroma. This can be achieved through the use of oak barrels, and is not possible with the maturation process in stainless steel tanks. At the technological stage of beer and wine maturation, the final formation of the taste and aroma of the product takes place, therefore it is extremely important to choose the right technological modes and the necessary characteristics of the equipment. This article discusses the features of the beer and wine maturation process in stainless steel tanks and oak barrels. The changes in beer and wine that occur during the maturation process are described in detail, taking into account the material from which the container is made. A detailed description of the properties of the materials from which the equipment for the beer and wine maturation process is made and their influence on the formation of the product profile is given. The objectives of the beer and wine maturation processes are described. A comparison of modern materials with traditional ones that were used several decades ago, as well as their effect on the organoleptic characteristics of the finished product, is carried out. The advantages and disadvantages of each of the materials used in the production of beer and wine maturation equipment are revealed.

Keywords: beer, wine, maturation, capacity, organoleptic characteristics, technology.

Для цитирования

Казарцев Д.А., Ключников А.И., Галкин А.И., Муравьев А.С., Новикова И.В., Коротких Е.А., Технологические особенности созревания вина и пива в емкостях из нержавеющей стали и дубовых бочках // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 155–163. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-155-163

For citation

Kazartsev D.A., Klyuchnikov A.I., Galkin A.I., Muravev A.S., Novikova I.V., Korotkikh E.A. Technological features of wine and beer maturation in stainless steel tanks and oak barrels. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 155–163. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-155-163

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Все больше современных заводов по производству пива и вина, для проведения процесса созревания предпочитают использовать оборудование из нержавеющей стали. Это безусловно дает свои преимущества с точки зрения удобства эксплуатации и мойки оборудования. На производстве является приоритетом микробиологическая чистота трубопроводов и емкостей, в которых будет после проводиться созревание продукта.

Для пивовара и винодела важна предсказуемость и стабильность в производственном процессе, контроль необходимых показателей, возможность отбора проб на каждом технологическом этапе для последующего анализа показателей и при необходимости своевременной корректировки технологических режимов производства.

В данных условиях безусловно более выгодно использовать оборудование из нержавеющей стали с датчиками и автоматическими приборами управления, а также возможностью поддержания заданной температуры созревания.

С началом развития индустриализации производства, процесс созревания пива и вина предпочитали осуществлять в дубовых бочках. Некоторые производители до настоящего времени не меняют свои традиционные взгляды по ведению данного процесса, считая, что использование дубовых бочек придает продукту особые, эксклюзивные тона в аромате и неповторимые оттенки выдержки во вкусе.

Вино и пиво, на первый взгляд, совершенно разные продукты брожения, но тем не менее имеется довольно много схожих характеристик, основной из которых является наличие алкоголя, который позволяют выдерживать данные напитки в дубовых бочках. Но не все сорта пива и вин должны подвергаться созреванию в дубовых бочках, для некоторых сортов это может негативно повлиять на профиль готового продукта.

В связи с этим целью исследования является сравнительный анализ особенностей процессов созревания различных сортов пива и вина в емкостях из нержавеющей стали и дубовых бочках.

Материалы и методы

Методологическая основа исследования базировалась на использовании теоретических общенаучных (анализа и синтеза) методов научного познания.

Теоретико-методологической основой исследований являются труды отечественных и зарубежных авторов в области виноделия и пивоварения, в частности, работы Г.Г. Валушко, В. Кунце, Л. Нарцисса, Т.Н. Борисенко, А.К. Родопуло.

В качестве объектов исследования были рассмотрены процессы, происходящие при созревании пива и вина в емкостях из нержавеющей стали и дубовых бочках.

Результаты и обсуждение

Особенности емкостного оборудования для проведения процесса созревания пива и вина напрямую влияют на характеристики готового продукта.

В литературе автора Л. Нарцисса «Краткий Курс Пивоварения» [1] можно выделить следующие особенности, а также достоинства и недостатки оборудования для процесса созревания пива:

1. *Алюминиевые танки* – представляют собой емкости, изготовленные из алюминия, которые хорошо выдерживают рабочее давление, но избыточное давление не должно превышать 1 бар, также при использовании данных емкостей имеется опасность возникновения вакуума в процессе опорожнения.

2. При использовании *деревянных бочек* возникают большие трудозатраты на чистку, обслуживание, ремонт, также возможен риск инфицирования продукта в случае нарушения герметичности емкости. Преимущество деревянных бочек состоит в том, что благодаря слабой теплопроводности древесины, происходит постепенное охлаждение пива с температуры перекачки до температуры отделения созревания.

3. При проведении процесса созревания пива в вертикальных танках (ЦКТ) обеспечивается индивидуальное охлаждение танка, что позволяет эффективно регулировать температуру пива. Данные емкости по объему могут достигать 5000 гл.

Как отмечено в новой энциклопедии «Просто о лучших Винах» [2], к выбору бочек для выдержки вин необходимо относиться с четким пониманием для какого продукта какую бочку необходимо использовать.

Кроме дубовых бочек, все остальные емкости, которые используются для винификации и выдержки вина совершенно нейтральны и могут различаться лишь формой: стальные чаны из нержавеющей стали с термоконтролем, яйцеобразные бетонные чаны, и даже закапываемые в землю глиняные кувшины.

Только дубовая бочка может привнести в вино нечто большее чем в нем уже есть. Использовать ее или нет – один из принципиальных вопросов стиля винодела. Некоторые сорта винограда не приемлют дубового воздействия, также есть и виноделы, которые избегают дуба, чтобы сохранить терруарную первозданность вина. Но все-таки чаще, особенно с красными винами, выбор делается в пользу бочек.

Бочки бывают разных размеров, из разной древесины, из разных сортов дуба и разного происхождения (французский, американский, славонский, русский и литовский). Огромное значение имеет степень обжига внутренней поверхности бочки при ее изготовлении. При легком обжиге подвергается только поверхность древесины, в случаях сильного обжига предполагается проникновение огня на 3–4 мм вглубь доски [19].

Важно так же как просушивалась клепка. В идеале их сложенные штабелями «забывают» на 3–4 года во влажном лесу под открытым небом, где они то пропитываются дождевой водой, то томятся под солнечными лучами.

Более всего французские бочки ценятся за аромат. Объективно французский дуб содержит больше экстрагируемых фенольных соединений (таких как галловая и эллаговая, протокатеховая и кофеиновая кислоты, лигнин), чем американский.

После выдержки во французской бочке в вино диффундирует в двое больше фенольных соединений и твердых веществ. Речь например, о таких веществах как эвгенол с пряным запахом гвоздики, гваякол с запахом дыма и т. Д [15].

Еще тут играют роль множество лактонов, ответственных за собственно древесный и кокосовый запахи.

Американский дуб придает пиву или вину гораздо больше самого пахучего ароматического альдегида – ванилина (продукт распада лигнина при контакте с этанольно-кислой винной средой или при обжиге) [14].

Поэтому, если вино выдержанно в бочке из американского дуба с сильной степенью обжига, оно будет очень «ванильным». Вносимые в вино французским дубом ароматы деликатнее и многообразнее. В новой бочке обычно вино выдерживают не более 3–4 лет. После этого срока бочка становится нейтральной и не передает вину ароматы дерева. Такая бочка может использоваться и дальше, если винодел заинтересован в микроокислении (медленном окислении) вина, а не в дубовых нотках [11].

При производстве определенных сортов вин, виноделы сознательно избегают новых бочек, считая, что они забивают фруктовый, чистый вкус продукта. В таком случае они используют либо старые, либо очень большие бочки, где контакт вина с деревом минимален. В настоящее время стало модным использовать старые винные бочки для выдержки других напитков, например пива [3].

Созревание в дубовых бочках подразумевает отсутствие возможности постоянного контроля температуры продукта, охлаждение осуществляется исключительно за счет поддержания необходимой температуры в помещении, что создает некоторые трудности с прогнозируемостью результата выдержки в бочке.

Для получения молодого пива и вина необходимо осуществить процесс сбраживания суслу.

Необходимо обозначить принципиальную разницу между целями процесса созревания пива и вина. В таблице 1 представлено сравнение целей процесса созревания пива и вина.

Таблица 1.

Цели созревания пива и вина

Table 1.

Maturation goals for beer and wine

Цели процесса созревания пива Objectives of the beer maturation process	Цели процесса созревания вина Objectives of the wine maturation process
Естественное осветление пива за счет осаждения дрожжей Natural lightening of beer due to the precipitation of yeast	Естественное осветление вина за счет осаждения дрожжей Natural clarification of wine due to the precipitation of yeast
Естественное насыщение пива углекислым газом Natural saturation of beer with carbon dioxide	Проведение яблочно-молочнокислого брожения Carrying out malolactic fermentation
Исключение процессов окисления пива при созревании Exclusion of beer oxidation processes during maturation	Проведение окислительно-восстановительных процессов с доступом небольших порций кислорода. Carrying out redox processes with access to small portions of oxygen
Формирование окончательного вкусо-ароматического профиля пива Formation of the final flavor profile of beer	Обогащения вина продуктами распада дрожжей Enriching wine with yeast breakdown products
По возможности исключение процесса автолиза дрожжей в пиве на этапе созревания. If possible, the exclusion of the process of autolysis of yeast in beer at the stage of maturation	Дображивание остаточных сахаров в вине Fermentation of residual sugars in wine
Дображивание остаточных сахаров в пиве Fermentation of residual sugars in beer	

Как отмечено авторами Ф. Главачек, А. Лхотский. «Пивоварение» [4] можно выделить следующие особенности процесса дображивания пива:

На этапе созревания пива в лаггерном отделении происходят следующие характерные процессы:

Осветление пива осуществляется за счет постепенного осаждения остаточных дрожжей.

Насыщение пива углекислым газом происходит за счет сбраживания дрожжами остаточных сахаров, что приводит к снижению экстракта до конечной степени сбраживания, увеличению содержания алкоголя и насыщению пива диоксидом углерода.

Выравнивание, созревание и утоньшение вкуса и запаха пива в результате химических превращений при дображивании, окончательному формированию и расщеплению вторичных продуктов брожения, таких как альдегиды, эфиры и высшие спирты.

В процессе перекачки молодого пива на созревание необходимо исключить доступ кислорода в пиво. Окисление полифенолов, горьких веществ, некоторых альдегидов и высших спиртов, негативно влияет на вкусоароматический профиль пива. [5].

Созревание пива проводят в емкостях из нержавеющей стали под давлением диоксида углерода 0,04–0,06 МПа при температуре от 0 до 2 °С в закрытых аппаратах без контакта с воздухом.

**Особенности созревания пива
в дубовых бочках**

Созревание пива в дубовой бочке подразумевает крайне ответственный подход пивовара

к данному процессу, не только с точки зрения подготовки емкости к заполнению продуктом, поддержания нужных температурных режимов и влажности в помещении, но и также понимания периодичности контроля (дегустаций) вкусовых и ароматических характеристик пива в течение выдержки для определения необходимых сроков созревания. Так как на определенном этапе, при избыточной выдержке, пиво начинает ухудшать свои органолептические показатели.

Дображивание пива в дубовых бочках допустимо при следующих условиях:

при изготовлении пива с высоким содержанием алкоголя или горечи. (Имперский стаут, барливайн, Траппистские сорта пива, ИПА);

при варке диких и кислых элей сброженных дикими дрожжами и бреттаномикетами.

При выдержке крепкого пива в дубовой бочке, снижаются резкие вкусы этанола и других высших спиртов.

При выдержке пива в дубовой бочке также технологи могут преследовать цель вторичного брожения, которое происходит дрожжами бреттаномикетами. Эти дрожжи могут присутствовать в самой древесине в качестве естественной микрофлоры, что придает пиву своеобразные тона кожи, скотного двора и. т. д. Такие технологические приемы в большинстве используются при производстве некоторых бельгийских сортов пива, диких и кислых элей с выдержкой в бочках [7].

В таблице 2. описаны достоинства и недостатки при созревании пива в стальных емкостях и в дубовых бочках.

Таблица 2.

Достоинства и недостатки выдержки пива в дубовых бочках и в стальных емкостях

Table 2.

Advantages and disadvantages of aging beer in oak barrels and steel tanks

Созревание в бочке Aging in oak barrels 1	Созревание в НЖ стали Aging in steel tanks 2
Достоинства Advantages	Достоинства Advantages
Придание особых характеристик дубовой выдержки продукту во вкусе и аромате Giving special characteristics of oak aging to the product in taste and aroma	Отсутствие доступа кислорода Lack of oxygen access
Возможность получения пива с особыми характеристиками за счет собственной микрофлоры (бреттаномикеты) The possibility of obtaining beer with special characteristics due to its own microflora (brettanomyces)	Возможность точной регулировки температурных режимов созревания The ability to accurately adjust the temperature conditions of maturation
Смягчение алкоголя в крепких сортах пива Alcohol mitigation in strong beers	Стабильные показатели крепости и плотности в процессе созревания Stable indicators of strength and density during maturation
Недостатки Disadvantages	Недостатки Disadvantages
Испарение продукта с изменением плотности и крепости Evaporation of the product with a change in density and strength	Низкая вероятность инфицирования пива Low probability of infection of beer
	Отсутствие критичного изменения органолептических показателей при избыточной выдержке The absence of a critical change in organoleptic parameters with excessive exposure

Продолжение таблицы 2 | Continuation of table 2

1	2
Отсутствие возможности точной регулировки температуры The lack of the possibility of precise temperature control	Возможность естественного насыщения пива углекислым газом в процессе созревания The possibility of natural saturation of beer with carbon dioxide during the maturation process
Возможно инфицирование пива Beer infection is possible	Недостатки Disadvantages
При избыточной выдержке ухудшение органолептических характеристик пива With excessive aging, the organoleptic characteristics of beer deteriorate	Отсутствие возможности придания пиву особых характеристик дубовой выдержки во вкусе и аромате The lack of the possibility of giving beer special characteristics of oak aging in taste and aroma
Микроокисление пива Microoxidation of beer	
Отсутствие возможности насыщения пива собственным естественным углекислым газом The lack of the possibility of saturating beer with its own natural carbon dioxide	

Особенности процесса созревания вин

Согласно литературным данным А.И. Глазнова «Технология вин и коньяков» [3] можно отметить следующие процессы при созревании вин:

1. В период созревания вина происходит *яблочно-молочнокислое брожение*, что приводит к изменению органических кислот.

2. Содержащиеся в вине взвешенные частицы, а также образовавшиеся таннаты и виннокислые соли выпадают в осадок, что приводит к *осветлению вина*.

3. *Обогащение вина продуктами распада дрожжей* за счет протекания автолитических процессов [17].

4. *Реакция меланоидинообразования* характеризуется образованием альдегидов из ряда аминокислот и появлением карамельных тонов за счет продуктов распада сахаров, что одно-значно влияет на органолептические характеристики вин.

5. В процессе взаимодействия кислот со спиртами происходят *реакции этерификации*, которые могут проходить ферментативным и неферментативным путем. [8].

Процессы, происходящие в вине при выдержке в дубовой бочке:

1. Соприкасаясь со стенками емкости, происходит *обогащение вина ароматами дуба*.

2. Через микропоры древесины просачивается кислород, что приводит к *микроокислению вина*, уменьшается кислотность, свежие напористые ароматы сменяются мягкими и спелыми фруктовыми тонами [9].

В литературе А.Н. Панова «Книга о вине» [10] можно выделить следующие особенности выдержки вина в дубовых бочках:

После старения красных вин они достигают пика формы, многие специальные белые

вина также нуждаются в том, чтобы провести определенное время в этой «благородной таре».

За время проведенное в таре вино впитывает содержащиеся в дереве танины, ванилин, а также древесный аромат. Причем чем новее бочка, тем сильнее ее воздействие на вино, поэтому виноделы следят за тем, чтобы это воздействие не стало чрезмерно сильным.

Сырьем для изготовления бочек являются дубовые деревья из многих стран, но лучшим по-прежнему является французский дуб.

По мнению специалистов американский дуб имеет меньше танинов, чем французский, но зато более ароматный. Поэтому в бочках из американского дуба вино не рекомендуется выдерживать более 9 месяцев. В противном случае дубовые ноты могут подавить винные ароматы.

Вино в зависимости от его типа выдерживается в деревянных бочках от трех до восемнадцати месяцев. За это время бочка может «Выпить» от трех до пяти процентов вина. Немного кислорода, поступающего через дубовые стенки на местот «выпитого» бочкой, способствует созреванию вина, ускоряет его. Однако непосредственное общение с кислородом губительно для вина, так как вызывает в нем рост губительных бактерий, которые превращают вино в уксус. Потому в бочки регулярно добавляют вино, с тем чтобы восполнять потери [18].

В таблице 3 описаны достоинства и недостатки при созревании вин в стальных емкостях и в дубовых бочках.

Безусловно выдержка продукта в дубовой бочке, влияет на его окончательный профиль. В таблице 4 описаны органолептические характеристики пива и вина после выдержки в дубовой бочке.

Таблица 3.

Достоинства и недостатки выдержки вина в дубовых бочках и в стальных емкостях

Table 3.

Advantages and disadvantages of aging wine in oak barrels and steel containers

Созревание в бочке Aging in oak barrels	Созревание в НЖ стали Aging in steel tanks
<i>Достоинства / Advantages</i>	<i>Достоинства / Advantages</i>
Придание особых характеристик дубовой выдержки продукту во вкусе, цвете и аромате Giving special characteristics of oak aging to the product in taste, color and aroma	Возможность точной регулировки температурных режимов созревания вина The ability to accurately adjust the temperature conditions of wine maturation
Возможность перемешивания (подъема) дрожжей со дна бочки для лучшего контакта продуктов автолиза дрожжей с вином The possibility of stirring (lifting) yeast from the bottom of the barrel for better contact of yeast autolysis products with wine	Стабильные показатели крепости и плотности вин в процессе выдержки Stable indicators of the strength and density of wines during aging
Возможность естественного яблочно-молочнокислого брожения The possibility of natural malolactic fermentation	Низкая вероятность инфицирования вина Low probability of wine infection
Проведение естественной микрооксидации вина через поры бочки Carrying out natural microoxidation of wine through the pores of the barrel	<i>Недостатки / Disadvantages</i>
Снижение содержания танинов в вине Reduction of tannin content in wine	Отсутствие возможности придания вину особых характеристик дубовой выдержки во вкусе и аромате The lack of the possibility of giving the wine special characteristics of oak aging in taste and aroma
<i>Недостатки / Disadvantages</i>	Отсутствие процесса естественной микрооксидации вина Absence of the process of natural microoxidation of wine
Испарение продукта с изменением плотности и крепости Evaporation of the product with a change in density and strength [13]	Отсутствие возможности естественного яблочно-молочнокислого брожения The absence of the possibility of natural malolactic fermentation
Отсутствие возможности точной регулировки температуры The lack of the possibility of precise temperature control	Отсутствие возможности перемешивания (подъема) дрожжей со дна емкости No possibility of stirring (lifting) yeast from the bottom of the container
Возможно инфицирование вина Possible infection of the wine	Отсутствие возможности снижения содержания таннинов в процессе созревания The lack of the possibility of reducing the content of tannins during maturation

Таблица 4.

Характеристики пива и вина после выдержки в дубовых бочках

Table 4.

Characteristics of beer and wine after aging in oak barrels

Характеристики пива после выдержки в дубовой бочке Characteristics of beer after aging in an oak barrel	Характеристики вина после выдержки в дубовой бочке Characteristics of the wine after aging in an oak barrel
Мягкое ощущение алкоголя во вкусе при выдержке крепких сортов пива The soft feeling of alcohol in the taste when aging strong beers	Мягкая, фруктовая кислотность за счет накопления молочной кислоты Mild, fruity acidity due to lactic acid accumulation
Насыщенный вкус и аромат выдержки в бочке, присутствуют винные ноты и ванили [16] The rich taste and aroma of aging in a barrel, there are wine notes and vanilla	Благородный, насыщенный цвет, за счет экстракции веществ из бочки и микроокисления Noble, rich color, due to the extraction of substances from the barrel and microoxidation
Возможны нотки в аромате и послевкусии вторичных продуктов брожения бретанномикетов. (кожа, скотный двор и т. д.) There may be notes in the aroma and aftertaste of secondary fermentation products of bretannomycetes. (leather, barnyard, etc.)	Насыщенный вкус и аромат выдержки в бочке, могут присутствовать нотки ванили, кокоса и специй Rich taste and aroma of aging in a barrel, notes of vanilla, coconut and spices may be present [12]
Глубокий цвет выдержки (темно-янтарный) особенно при выдержке в бочках сильного обжига Deep aging color (dark amber) especially when aged in barrels of strong firing [20]	Мягкая танинность во вкусе Mild tannin in the taste

Заключение

Проведен сравнительный анализ особенностей процессов при созревании пива и вина в дубовых бочках и емкостях из нержавеющей стали. Установлено, что при выдержке пива в дубовых бочках имеются риски инфицирования пива, отсутствует возможность точного контроля температуры, а также насыщения пива собственным, естественным углекислым газом, при избыточной выдержке имеется риск ухудшения органолептических характеристик пива. Также были выявлены достоинства выдержки пива в дубовой бочке такие как придание особых характеристик дубовой выдержки продукту во вкусе и аромате, возможность получения пива с особыми характеристиками за счет собственной микрофлоры, а также смягчение алкоголя в крепких сортах пива. Для небольших партий эксклюзивного пива созревание в дубовых бочках оправдано при производстве сортов, для которых уместны во вкусе и аромате тона дуба и бреттаномисетов.

Установлено, что применение дубовых бочек при производстве вин придает продукту особые характеристики дубовой выдержки во вкусе, цвете и аромате, обеспечивает возможность перемешивания (подъема) дрожжей со дна бочки для лучшего контакта продуктов автолиза дрожжей с вином, микрооксидации вина через поры бочки, а также естественного яблочно-молочнокислого брожения, при созревании происходит снижение содержания танинов. Недостатками выдержки вина в дубовой бочке является риск инфицирования, сложность контроля постоянной температуры, а также испарение вина в процессе созревания, также при производстве определенных сортов вин необходимо избегать выдержки в дубовых бочках, для легкости, фруктово-виноградности вина и отсутствия тонов дуба.

Сопоставление органолептических характеристик пива и вина после выдержки в дубовых бочках позволяет заключить, что только при применении данных емкостей в процессе созревания можно обеспечить продукту особые органолептические характеристики во вкусе, цвете и аромате.

Литература

- 1 Нарцисс Л. Краткий курс пивоварения. СПб: «Профессия», 2007. 641 с.
- 2 Прохорова А., Салыхова Э. Новая энциклопедия Просто о лучших Винах. М.: Эксмо, 2019. 232 с.
- 3 Глазунов А.И., Царану И.Н. Технология вин и коньяков. М.: Агропромиздат, 1988. 341 с.
- 4 Главачек Ф., Лхотский А. Пивоварение. М.: Пищевая промышленность, 1977. 245 с.
- 5 Валушко Г.Г. Технология виноградных вин. Симферополь: Таврида.
- 6 Кунце В. Технология солода и пива. СПб.: Профессия, 2001. 912 с.
- 7 Ермолаева Г.А., Колчева Р.А. Технология и оборудование производства пива и безалкогольных напитков: учеб. для нач. проф. образования. М.: ИРПО; Изд. центр «Академия», 2000. 416.
- 8 Родопуло А.К. Основы биохимии виноделия. М.: 1983. 240 с.
- 9 Валушко Г.Г. Технология виноградных вин. Симферополь: Таврида, 2001. 642 с.
- 10 Панов А.Н. Книга о вине. М.: ОЛМА-ПРЕСС, 2003. 255с.
- 11 Carpena M., Pereira A.G., Prieto M.A., Simal-Gandara J. et al. Wine aging technology: Fundamental role of wood barrels // Foods. 2020. V. 9. №. 9. P. 1160.
- 12 Степанова Н.Д. Сравнительная органолептическая оценка белых виноградных вин, сброженных в дубовых бочках или в резервуарах с добавленной дубовой щепой. (Испания) // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. 2005. № 2. С. 616.
- 13 Tao Y., García J.F., Sun D.W. Advances in wine aging technologies for enhancing wine quality and accelerating wine aging process // Critical reviews in food science and nutrition. 2014. V. 54. №. 6. P. 817-835. doi: 10.1080/10408398.2011.609949
- 14 Теречик Л.Ф. Определение интенсивности обжига древесины дуба и качества клепки дубовых бочек для созревания вин различными методами. (Франция) // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. 2002. № 3. С. 1078.
- 15 Alañón M.E., Díaz-Maroto M.C., Pérez-Coello M.S. New strategies to improve sensorial quality of white wines by wood contact // Beverages. 2018. V. 4. №. 4. P. 91.
- 16 Tariba B. Metals in Wine—Impact on Wine Quality and Health Outcomes // Biological Trace Element Research. 2011. V. 144. №. 1. P. 143-156. doi: 10.1007/s12011-011-9052-7
- 17 Del Alamo Sanza M., Nevares Domínguez I. Wine aging in bottle from artificial systems (staves and chips) and oak woods: Anthocyanin composition // Analytica Chimica Acta. 2006. V. 563. № 1-2. P. 255-263. doi: 10.1016/j.aca.2005.11.030
- 18 Oberholster A., Elmendorf B.L., Lerno L.A. et al. Barrel maturation, oak alternatives and micro-oxygenation: Influence on red wine aging and quality // Food Chemistry. 2015. V. 173. P. 1250-1258. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.10.043
- 19 Revilla I., Gonzalez-SanJose M.L. Effect of different oak woods on aged wine color and anthocyanin composition // European Food Research and Technology. 2001. V. 213. № 4-5. P. 281-285. doi: 10.1007/s002170100369
- 20 Daz-Plaza E.M., Reyero J.R., Pardo F., Salinas M.R. Comparison of wine aromas with different tannic content aged in French oak barrels // Analytica Chimica Acta. 2002. V. 458. №. 1. P. 139-145.

References

- 1 Narcissus L. Short course in brewing. St. Petersburg, Profession, 2007. 641 p. (in Russian).
- 2 Prokhorova A., Salyakhova E. New encyclopedia Simply about the best Wines. M., Eksmo, 2019. 232 p. (in Russian).
- 3 Glazunov A.I., Tsaranu I.N. Technology of wines and cognacs. M., Agropromizdat, 1988. 341 p. (in Russian).
- 4 Hlavacek F., Lhotsky A. Brewing. M., Food industry, 1977. 245 p. (in Russian).
- 5 Valuiko G.G. Grape wine technology. Simferopol, Tavrida. (in Russian).
- 6 Kuntze V. Technology of malt and beer. St. Petersburg, Profession, 2001. 912 p. (in Russian).
- 7 Ermolaeva G.A., Kolcheva R.A. Technology and equipment for the production of beer and soft drinks: textbook. for the beginning prof. education. M., IRPO; Ed. Center "Academy", 2000. 416 p. (in Russian).
- 8 Rodopulo A.K. Fundamentals of biochemistry of winemaking. M., 1983. 240 p. (in Russian).
- 9 Valuiko G.G. Grape wine technology. Simferopol, Tavrida, 2001. 642 p. (in Russian).
- 10 Panov A.N. A book about wine. M., OLMA-PRESS, 2003. 255 p. (in Russian).
- 11 Carpena M., Pereira A.G., Prieto M.A., Simal-Gandara J. et al. Wine aging technology: Fundamental role of wood barrels. *Foods*. 2020. vol. 9. no. 9. pp. 1160.
- 12 Stepanova N.D. Comparative organoleptic evaluation of white grape wines fermented in oak barrels or in tanks with added oak chips. (Spain). *Food and processing industry. Abstract journal*. 2005. no. 2. pp. 616. (in Russian).
- 13 Tao Y., García J.F., Sun D.W. Advances in wine aging technologies for enhancing wine quality and accelerating wine aging process. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2014. vol. 54. no. 6. pp. 817-835. doi: 10.1080/10408398.2011.609949
- 14 Terechik L.F. Determination of the intensity of burning oak wood and the quality of riveting oak barrels for maturing wines using various methods. (France). *Food and processing industry. Abstract journal*. 2002. no. 3. pp. 1078. (in Russian).
- 15 Alañón M.E., Díaz-Maroto M.C., Pérez-Coello M.S. New strategies to improve sensorial quality of white wines by wood contact. *Beverages*. 2018. vol. 4. no. 4. pp. 91.
- 16 Tariba B. Metals in Wine—Impact on Wine Quality and Health Outcomes. *Biological Trace Element Research*. 2011. vol. 144. no. 1. pp. 143-156. doi: 10.1007/s12011-011-9052-7
- 17 Del Alamo Sanza M., Nevares Dom'nguez I. Wine aging in bottle from artificial systems (staves and chips) and oak woods: Anthocyanin composition. *Analytica Chimica Acta*. 2006. vol. 563. no. 1-2. pp. 255-263. doi: 10.1016/j.aca.2005.11.030
- 18 Oberholster A., Elmendorf B.L., Lerno L.A. et al. Barrel maturation, oak alternatives and micro-oxygenation: Influence on red wine aging and quality. *Food Chemistry*. 2015. vol. 173. pp. 1250-1258. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.10.043
- 19 Revilla I., Gonzalez-SanJose M.L. Effect of different oak woods on aged wine color and anthocyanin composition. *European Food Research and Technology*. 2001. vol. 213. no. 4-5. pp. 281-285. doi: 10.1007/s002170100369
- 20 Daz-Plaza E.M., Reyero J.R., Pardo F., Salinas M.R. Comparison of wine aromas with different tannic content aged in French oak barrels. *Analytica Chimica Acta*. 2002. vol. 458. no. 1. pp. 139-145.

Сведения об авторах

Дмитрий А. Казарцев д.т.н., заведующий кафедрой, кафедра технологии виноделия, бродильных производств и химии имени Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского, ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, kda_79@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6597-2327>

Андрей И. Ключников д.т.н., доцент, кафедра технологии виноделия, бродильных производств и химии имени Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского, ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, kaivanov@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0009-7333-6967>

Андрей И. Галкин аспирант, кафедра технологии виноделия, бродильных производств и химии имени Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского, ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, galkin-galkin87@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8161-0040>

Александр С. Муравьев к.т.н., инженер, отдел стандартизации и метрологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, hntrun@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5989-0752>

Инна В. Новикова д.т.н. профессор, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, noviv@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2360-5892>

Information about authors

Dmitry A. Kazartsev Dr. Sci. (Engin.), head of department, winemaking technology, fermentation production and chemistry named after G.G. Agabalyantsa department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management, Zemlyanoy Val str. Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, kda_79@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6597-2327>

Andrey I. Klyuchnikov Dr. Sci. (Engin.), associate professor, winemaking technology, fermentation production and chemistry named after G.G. Agabalyantsa department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management, Zemlyanoy Val str. Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, kaivanov@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0009-7333-6967>

Andrey I. Galkin graduate student, winemaking technology, fermentation production and chemistry named after G.G. Agabalyantsa department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management, Zemlyanoy Val str. Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, galkin-galkin87@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8161-0040>

Aleksandr S. Muravev Cand. Sci. (Engin.), engineer, standardization and metrology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, hntrun@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5989-0752>

Inna V. Novikova Dr. Sci. (Engin.), professor, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, noviv@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2360-5892>

Елена А. Коротких к.т.н., доцент, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, dobruly@bk.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-5951-7085>

Elena A. Korotkikh Cand. Sci. (Engin.), associate professor, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, dobruly@bk.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-5951-7085>

Вклад авторов

Дмитрий А. Казарцев консультация в ходе исследования по особенностям оборудования

Андрей И. Ключников обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты

Андрей И. Галкин консультация в ходе исследования по технологии пива

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

Инна В. Новикова консультация в ходе исследования по качеству продукции

Елена А. Коротких консультация в ходе исследования по технологии вина

Contribution

Dmitry A. Kazartsev consultation during the research on the features of the equipment

Andrey I. Klyuchnikov review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Andrey I. Galkin consultation during the research on beer technology

Aleksandr S. Muravev wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Inna V. Novikova consultation in the course of product quality research

Elena A. Korotkikh consultation during the research on wine technology

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 15/01/2024	После редакции 01/02/2024	Принята в печать 21/02/2024
Received 15/01/2024	Accepted in revised 01/02/2024	Accepted 21/02/2024

Хроматографические методы в изучении химического состава алкогольных напитков

Геннадий В. Агафонов	¹	gvagafonov@mail.ru	 0000-0002-2133-5606
Константин К. Полянский	²	tovar201@list.ru	 0000-0002-5659-1423
Наталия В. Шелехова	³	4953610101@mail.ru	 0000-0001-7735-2942
Алла Е. Чусова	¹	hycovai@mail.ru	 0000-0003-1237-4870
Михаил П. Тарарыков	¹	cmitttt@mail.ru	 0000-0001-2254-5293

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

2 Воронежский филиал «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова», Воронеж

3 ВНИИПБТ – филиал «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи»

Аннотация. Данная работа проведена с целью изучения возможностей комплексного применения методов газовой хроматографии, хромато-масс-спектрометрии, капиллярного электрофореза для определения химического состава спиртных напитков на примере водки «Береза». Методом газовой хроматографии выявлены: уксусный альдегид массовой концентрацией 4,18 дм³б.с., ацетон 16,7 мг/дм³б.с., метиловый спирт 0,00119 об. б.с и 2-пропанол 0,61 мг/дм³б.с. Обнаружено превышение показателя массовой концентрации уксусного альдегида, который составляет 4,18 дм³б.с. против 3,0 дм³б.с. как регламентирует государственный стандарт. Установлены возможные причины повышенного содержания уксусного альдегида и образования ацетона в водке. В качестве референтного использовали метод газовой хромато-масс-спектрометрии, который подтвердил достоверность идентификации более чем на 98%, на основании анализа совпадения библиотечных и экспериментальных масс-спектров. Методом капиллярного электрофореза установлено, что в образце водки присутствуют хлориды, нитраты, формиаты, аммоний, калий, магний, массовая концентрация которых составляет менее 0,5 мг/дм³ каждого. Кроме того, обнаружены цитраты массовой концентрацией 2,32 мг/дм³, кальций 4,11 мг/дм³, натрий 14,33 мг/дм³ и марганец 0,32 мг/дм³. Исследование ионного состава березового сока, используемого в качестве ингредиента, при приготовлении водки, показало, что массовая концентрация хлоридов составляет 7,52 мг/дм³, сульфатов 18,79 мг/дм³, оксалатов 0,24 мг/дм³, формиатов 18,84 мг/дм³, фторидов 2,02 мг/дм³, фумаратов 5,90 мг/дм³, малатов 16,60 мг/дм³, цитратов 315,72 мг/дм³, гликолятов 17,82 мг/дм³, ацетатов 33,80 мг/дм³, лактатов 10,05 мг/дм³, фосфатов 26,38 мг/дм³, аммония 1,70 мг/дм³, калия 16,87 мг/дм³, кальция 83,23 мг/дм³, натрия 1,02 мг/дм³, магния 18,93±14% мг/дм³, марганца 5,21 мг/дм³. Присутствие лимонной кислоты массовой концентрацией 315,72 мг/дм³, не характерно для березового сока, дает основание полагать, что ее использовали как регулятор кислотности при производстве. Таким образом, причиной повышенного содержания уксусного альдегида и образования ацетона в исследуемом образце могло стать использование березового сока, содержащего лимонную кислоту. Проведенное исследование подтвердило целесообразность использования методов газовой хроматографии, хромато-масс-спектрометрии и капиллярного электрофореза в комплексе для изучения состава спиртных напитков.

Ключевые слова: водка, капиллярный электрофорез, газовая хроматография, хромато-масс-спектрометрия, ионный состав, ацетон, лимонная кислота.

Chromatographic methods in the study of the chemical composition of alcoholic beverages

Gennady V. Agafonov	¹	gvagafonov@mail.ru	 0000-0002-2133-5606
Konstantin K. Polyansky	²	tovar201@list.ru	 0000-0002-5659-1423
Natalia V. Shelekhova	³	4953610101@mail.ru	 0000-0001-7735-2942
Alla E. Chusova	¹	hycovai@mail.ru	 0000-0003-1237-4870
Mikhail P. Tararykov	¹	cmitttt@mail.ru	 0000-0001-2254-5293

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

2 Voronezh branch of "Plekhanov Russian University of Economics", Voronezh

3 VNIIPBT - branch of "Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety".

Abstract. This work was carried out to study the possibilities of complex application of methods of gas chromatography, chromatography-mass spectrometry, capillary electrophoresis to determine the chemical composition of alcoholic beverages on the example of vodka Bereza. Gas chromatography method revealed: acetic aldehyde mass concentration of 4.18 dm³b.s., acetone 16.7 mg/dm³b.s., methyl alcohol 0.00119 vol. b.s. and 2 propanol 0.61 mg/dm³b.s. The mass concentration of acetic aldehyde was found to be higher than that of acetic aldehyde, which is 4.18 dm³b.s. against 3.0 dm³b.s. as regulated by the state standard. Possible reasons for the increased content of acetic aldehyde and acetone formation in vodka were established. The method of gas chromatography-mass spectrometry was used as a reference method, which confirmed the reliability of identification by more than 98 %, based on the analysis of the coincidence of library and experimental mass spectra. By capillary electrophoresis method it was found that the vodka sample contains chlorides, nitrates, formates, ammonium, potassium, magnesium, the mass concentration of which is less than 0.5 mg/dm³ each. In addition, citrates with a mass concentration of 2.32mg/dm³, calcium 4.11mg/dm³, sodium 14.33mg/dm³ and manganese 0.32mg/dm³ were detected. The study of ionic composition of birch sap used as an ingredient in the preparation of vodka showed that the mass concentration of chlorides is 7.52mg/dm³, sulfates 18.79mg/dm³, oxalates 0.24mg/dm³, formates 18.84mg/dm³, fluorides 2.02mg/dm³, fumarates 5.90mg/dm³, malates 16.60mg/dm³, citrates 315.72mg/dm³, glycolates 17.82mg/dm³, acetates 33.80mg/dm³, lactates 10.05mg/dm³, phosphates 26.38mg/dm³, ammonium 1.70mg/dm³, potassium 16.87mg/dm³, calcium 83.23mg/dm³, sodium 1.02mg/dm³, magnesium 18.93±14 % mg/dm³, manganese 5.21mg/dm³. The presence of citric acid with a mass concentration of 315.72mg/dm³ is not typical for birch sap and suggests that it was used as an acidity regulator during production. Thus, the reason for the increased content of acetic aldehyde and acetone formation in the studied sample could be the use of birch sap containing citric acid. The conducted study confirmed the expediency of using the methods of gas chromatography, chromatography-mass spectrometry and capillary electrophoresis in combination to study the composition of alcoholic beverages.

Keywords: vodka, capillary electrophoresis, gas chromatography, chromatography-mass spectrometry, ionic composition, acetone, citric acid.

Для цитирования

Агафонов Г.В., Полянский К.К., Шелехова Н.В., Чусова А.Е., Тарарыков М.П. Хроматографические методы в изучении химического состава алкогольных напитков // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 164–172. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-164-172

For citation

Agafonov G.V., Polyansky K.K., Shelekhova N.V., Chusova A.E., Tararykov M.P. Chromatographic methods in the study of the chemical composition of alcoholic beverages. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 164–172. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-164-172

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Водка – спиртной напиток, произведенный на основе ректификованного этилового спирта и исправленной воды, крепостью от 37,5 до 56,0% об., представляющий собой бесцветный водно-спиртовой раствор с мягким, присущим водке, вкусом и характерным водочным ароматом [1]. Технологический процесс приготовления водок включает следующие основные этапы: приготовление исправленной воды, смешивание ректификованного этилового спирта из пищевого сырья с исправленной водой, обработку водно-спиртового раствора активным углем, внесение ингредиентов в соответствии с рецептурой, розлив в потребительскую упаковку, хранение готовой продукции [1–4]. На всех этапах технологического процесса приготовления водок необходим инструментальный контроль [5].

Инструментальные методы контроля широко применяют в различных областях, в том числе и в контроле качества и безопасности алкогольной продукции. Эти методы позволяют выявлять и анализировать различные химические соединения, определять их массовую концентрацию и проверять ее соответствие нормативам. Газовая хроматография применяется для анализа органических соединений, хромато-масс-спектрометрия – для определения масс и структуры веществ, капиллярный электрофорез – для разделения и анализа ионного состава сложных многокомпонентных сред [4–6].

Методы газовой хроматографии, хромато-масс-спектрометрии и капиллярного электрофореза представляют собой мощные инструменты как для скрининга, так и для идентификации целевых аналитов, обеспечивая точные и надежные результаты, которые могут быть использованы в науке и промышленности [7]. Комбинирование этих методов обеспечивает детальное изучение химического состава алкогольной продукции.

Основным положением данного подхода к идентификации спиртных напитков является концепция комплексного исследования, основанного на сочетании газовой хроматографии, хромато-масс-спектрометрии и капиллярного электрофореза, при этом, метод газовой хроматографии используют в целях предварительного анализа для определения массовой концентрации летучих органических примесей, метод хромато-масс-спектрометрии в качестве референтного метода для подтверждения идентификации, метод капиллярного электрофореза для определения катионов, анионов органических и неорганических кислот [8–10]. Эффективность предложенного подхода обеспечивается за счет синергии преимуществ обоих детекторов.

Цель работы – теоретически обосновать и экспериментально подтвердить целесообразность комплексного использования методов газовой хроматографии, хромато-масс-спектрометрии и капиллярного электрофореза для повышения информативности анализа спиртных напитков. На примере образа водки «Береза» выявить причину превышения нормативных показателей по уксусному альдегиду, определить неидентифицированный пик на хроматограмме и установить причину его возникновения.

Материалы и методы

Объект исследования. Образец водки «Береза» (Название изменено, любое совпадение следует считать случайностью.) Состав: вода питьевая исправленная, спирт этиловый ректификованный «Люкс» из пищевого сырья, сок березовый натуральный, сахар, мед натуральный, фруктоза, регулятор кислотности сода пищевая, молочная кислота. Промышленный образец березового сока. Состав: сок березы натуральный, экологически чистый, без консервантов.

Хроматографическое исследование проводили на газовом хроматографе Agilent 6850 (США) с пламенно-ионизационным детектором с пределом детектирования не более $5 \cdot 10^{-12}$ г/с и капиллярной колонкой HP-FFAP. Условия хроматографирования: температура детектора 210 °С, температура испарителя 115 °С, коэффициент деления потока 25:1, объем пробы 0.7 мм³. Начальная температура термостата колонок 80 °С, выдержка 0,1 мин, программирование со скоростью 10 °С до 55 °С (7–8 мин), программирование со скоростью 7 °С до 230 °С (5 мин). Скорость потока газа-носителя (азот) 0.048–0.072 дм³/ч, скорость потока воздуха 18 дм³/ч, скорость потока водорода 1.8 дм³/ч. Время анализа 28 мин.

Хромато-масс-спектрометрическое исследование проводили на газовом хроматографе Маэстро 7820 с масс-селективным детектором (Россия, США) и капиллярной колонкой HP-FFAP. Условия хроматографирования: газ-носитель гелий, скорость потока 0.6 мл/мин, температура испарителя 130 °С, объем дозирования пробы 0.5 мкл, начальная температура термостата 75 °С программа подъема температуры до 220 °С, время анализа 15 мин, энергия ионизирующих электронов 70 эВ, температура интерфейса 210 °С, температура ионного источника 220 °С, режим регистрации – сканирование по полному ионному току в режиме SCAN в диапазоне массовых чисел m/z 19–400. Идентификацию проводили сопоставлением полученных масс-спектров с соответствующими данными библиотеки, с использованием программного обеспечения NIST11.

Электрофоретическое исследование проводили на системе капиллярного электрофореза PrinCE750 (Нидерланды) с кондуктометрическим детектором с пределом детектирования $10^{-7} - 10^{-9}$ моль/л и полым кварцевым капилляром с внутренним диаметром 50 мкм, общей длиной 110 см, эффективной длиной 14 см. Рабочий электролит: 30 мМоль/дм³ L-Histidine, 30 мМоль/дм³ 2-Morpholinoethanesulfonic acid Monohydrate, 2 мМоль/дм³ 18-crown. Условия анализа: напряжение +25кВ, температура капилляра +21°C, ввод пробы гидродинамический 30мБарв течении 40 с, время анализа 22 мин.

Результаты и обсуждение

При проведении настоящего исследования реализован подход, основанный на сочетании современных инструментальных методов анализа.

Предложенный подход позволяет достичь более точных результатов и увеличить надежность идентификации спиртных напитков. Он также позволяет определить массовую концентрацию органических примесей, которые могут влиять на качество и безопасность продукта. Использование различных методов анализа в комбинации позволяет получить наиболее полную информацию о составе спиртных напитков и идентифицировать все компоненты. Это может быть важно в том числе и для выявления фальсификаций алкогольной продукции или нарушения требований к качеству. Таким образом, в целом, предложенный подход к идентификации спиртных напитков обеспечивает более полное и надежное аналитическое исследование продукта. Для реализации предложенного подхода составлен алгоритм идентификации (рисунок 1).

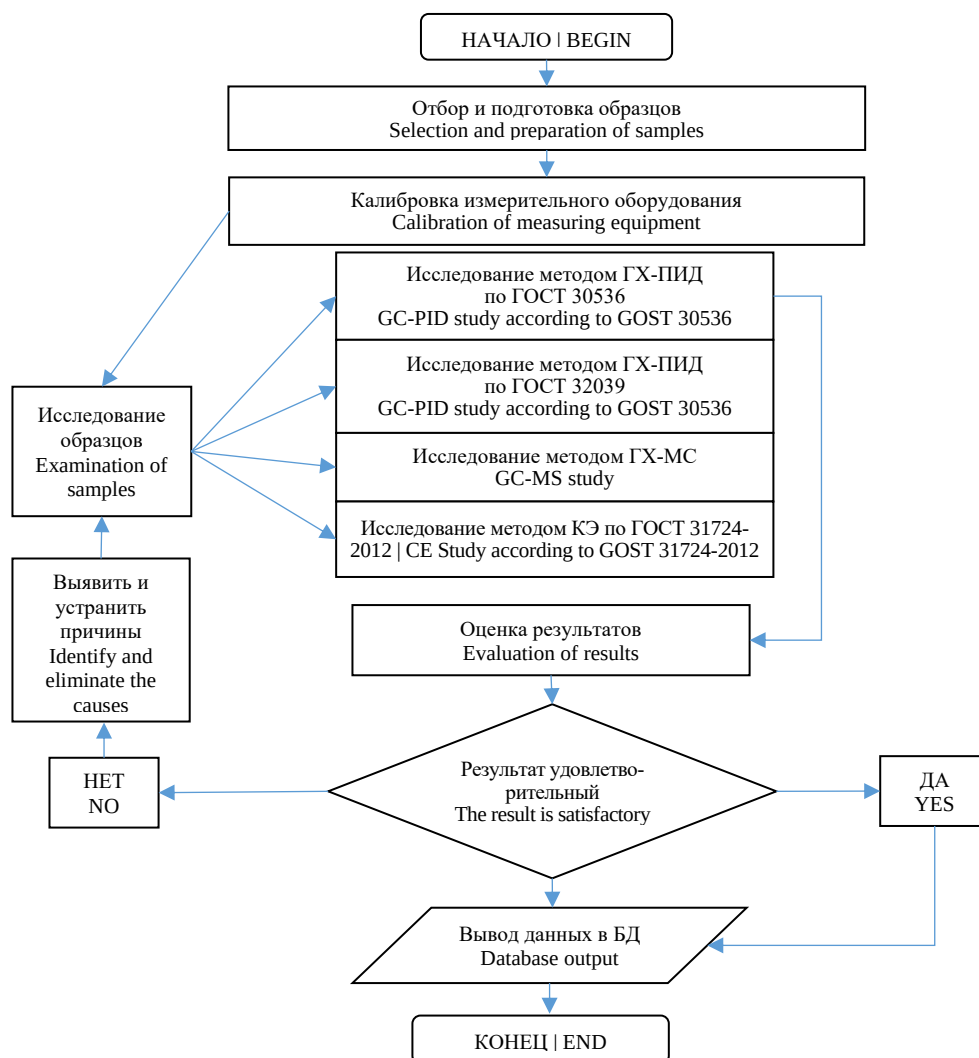


Рисунок 1. Принципиальный алгоритм проведения исследований водок методом газовой газовой хроматографии, хромато-масс-спектрометрии, капиллярного электрофореза

Figure 1. Principle algorithm of vodka studies by gas chromatography, chromatography-mass spectrometry, capillary electrophoresis methods

Следует отметить, что разработанный алгоритм идентификации может быть более сложным и содержать дополнительные шаги в зависимости от специфики задачи. Предлагаемый алгоритм представляет общий подход и может быть настроен и модифицирован в соответствии с конкретными требованиями и условиями задачи. Необходимо подчеркнуть, что перспективным направлением развития данной тематики является использование искусственного интеллекта в контроле качества и безопасности алкогольной продукции.

На первом этапе исследования методом газовой хроматографии в соответствии с ГОСТ 30536–2013 «Водка и спирт этиловый из пищевого сырья. Газохроматографический экспресс-метод. Определения содержания токсичных микропримесей» [11], который регламентирует определение уксусного альдегида (ацетальдегид), метилацетата, этилацетата, 2-пропанола, 1-пропанола, изобутанола, 1-бутанола и изоамилола в диапазоне от 0.5 мг/дм³ до 10.0 мг/дм³ б.с. и метилового спирта в диапазоне от 0,0001% об. б.с. до 0,0500% об. б.с. в водках, водках особых и этиловом ректифицированном спирте из пищевого сырья (рисунок 2).

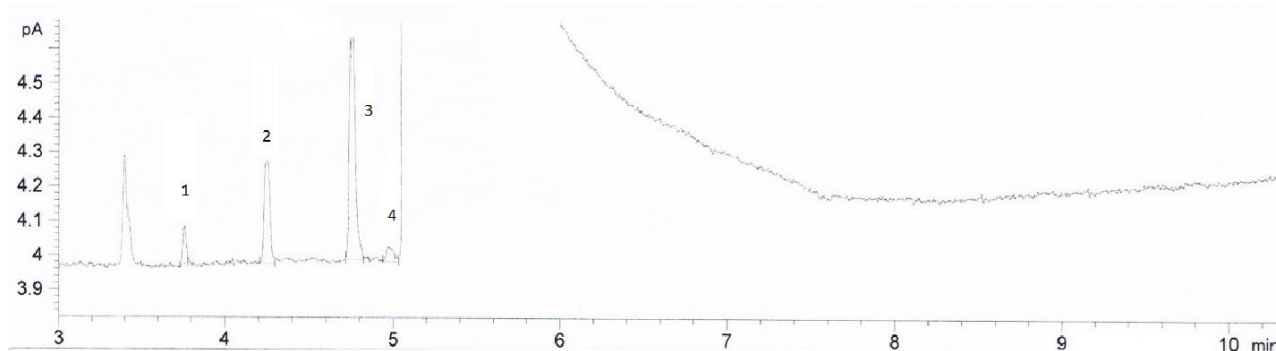


Рисунок 2. Хроматограмма водки «Береза»: 1 – 1-уксусный альдегид (ацетальдегид), 2 – неидентифицированный пик, 3 – метанол, 4 – 2-пропанол

Figure 2. Chromatogram of vodka "Birch": 1 - 1 acetic aldehyde (acetaldehyde), 2 - unidentified peak, 3 - methanol, 4 - 2 propanol

Установлено, что в образце присутствует уксусный альдегид (ацетальдегид) массовой концентрацией $4,18 \pm 0,63 \text{ мг/дм}^3$ б.с., метиловый спирт $0,00119 \pm 0,00018\%$ об. б.с., 2-пропанол $0,61 \pm 0,092 \text{ мг/дм}^3$ б.с. Кроме того, обнаружен неидентифицированный пик. Следует отметить превышение показателя «массовая концентрация уксусного альдегида», который составляет $4,18 \pm 0,63 \text{ мг/дм}^3$ б.с., тогда как нормативный документ ГОСТ 12712–2013 «Водки и водки особые. Общие технические условия» [12] регламентирует содержание уксусного альдегида для водок из спирта «Люкс» не более $3,0 \text{ мг/дм}^3$. Дальнейшие исследования водки «Береза» проводились с целью выявления причины превышения нормативных показателей по уксусному альдегиду, идентификации неидентифицированного пика, обнаруженного на хроматограмме и установление причины его возникновения.

В соответствии с составленным алгоритмом проведено исследования образца водки «Береза». В целях идентификации неидентифицированного пика, проведено исследование образца в соответствии с ГОСТ 32039–2013 «Водка и спирт этиловый из пищевого сырья. Газохроматографический метод определения подлинности» [13]. Стандарт предназначен для исследовательских работ и накопления статистических данных, распространяется на водки и водки особые, спирт

этиловый ректифицированный из пищевого сырья и устанавливает газохроматографический метод определения содержания токсичных микропримесей, не характерных для водки и спирта. Проведенное исследование водки Береза, кроме уксусного альдегида, метилового спирта, 2-пропанола, позволило идентифицировать ацетон массовой концентрацией $16,7 \pm 2,5 \text{ мг/дм}^3$ б.с., не определяемый по ГОСТ 30536–2013.

В целях подтверждения достоверности идентификации в качестве референтного метода был выбран метод газовой хромато-масс-спектрометрии [14]. Методом хромато-масс-спектрометрии с применением библиотеки масс-спектров NIST 11 подтвержден качественный состав представленного образца (рисунок 3).

Проведена идентификация полученных масс-спектров путем сравнения с масс-спектрами библиотеки. При сопоставлении библиотечного и экспериментального масс-спектров индивидуальные химические соединения считали идентифицированными, если экспериментальные спектры, соответствовали не менее, чем на 90%, масс-спектрам известных химических соединений, зарегистрированных в библиотеке NIST11. В качестве иллюстрации на рисунке 4 отображены экспериментальный и библиотечный масс-спектры ацетона (рисунок 4).

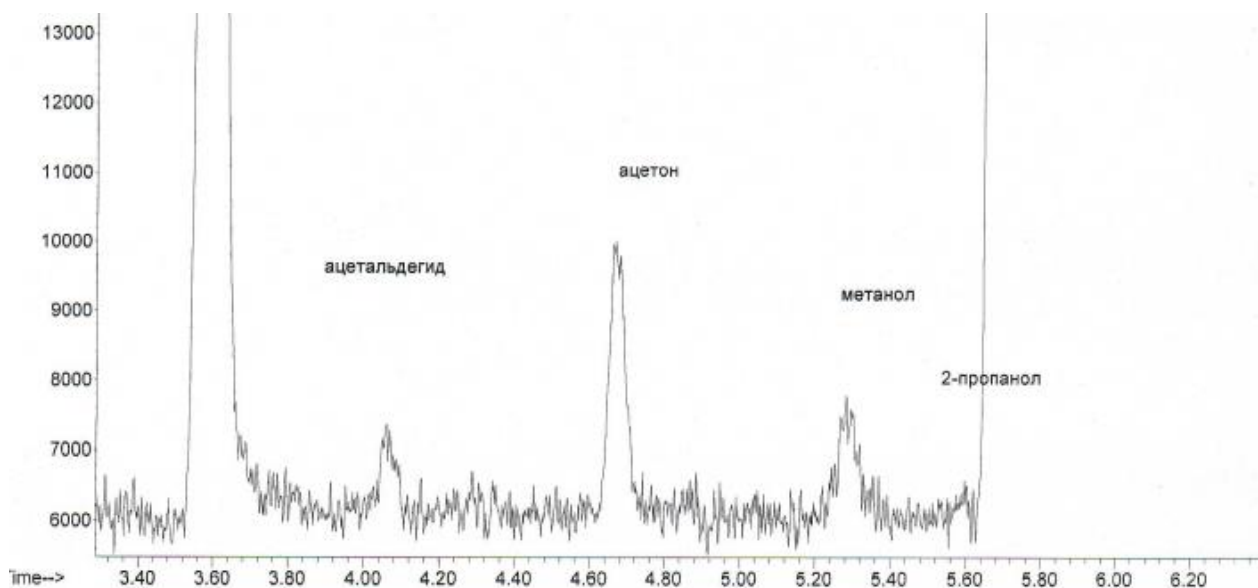


Рисунок 3. Хроматограмма водки «Береза»

Figure 3. Chromatogram of "Birch" vodka

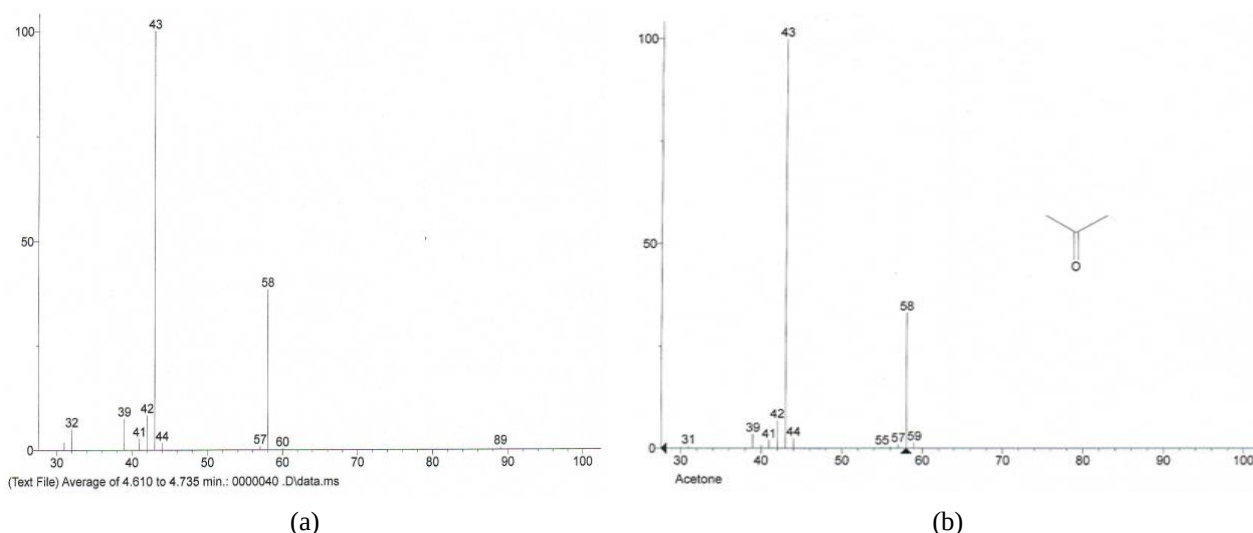


Рисунок 4. Масс-спектр ацетона: (а) – экспериментальный; (б) – библиотечный

Figure 4. Acetone mass spectrum: (a) - experimental; (b) - library spectrum

Таким образом, методом газовой хромато-масс-спектрометрии экспериментально подтверждено присутствие в исследуемом образце уксусного альдегида, ацетона, метилового спирта, 2-пропанола. Следует отметить, что ацетон не является характерной примесью спирта этилового ректификованного и водок, приготовленных на его основе.

Ацетон (пропан-2-он, диметилкетон) – жидкость с характерным резким запахом и температурой кипения 58.08 °С, хорошо растворима в воде, спиртах и эфирах, обладает способностью к окислению и восстановлению, вступает в реакции альдольной и кротоновой конденсации. Ацетон является естественным метаболитом

организма человека и животных, однако, при накоплении в высоких концентрациях может приводить к развитию кетоацидоза [15, 16].

В литературе представлены разноречивые сведения о влиянии ацетона в водке на организм человека [15, 16]. Известно, что ацетон может содержаться во многих спиртных напитках, полученных методом дистилляции, в том числе в коньяках, виски, кальвадосе, роме и других напитках. Однако, данные в пользу того, что дистиллированные напитки оказывают более выраженное токсичное действие на организм человека – отсутствуют [17].

Исследования, направленные на изучение причин образования ацетона в водках, проведенные группой исследователей ВНИИПБТ

под руководством доктора технических наук, профессора, академика РАН Полякова В.А., показали, что «внесение лимонной кислоты способствует значительному образованию ацетона в водках при хранении, внесение натурального меда и аскорбиновой кислоты практически не оказывает влияния на образование ацетона. Однако, внесение уксусной и аскорбиновой кислот может способствовать существенному увеличению уксусного альдегида» [17].

На основании вышеизложенного, можно предположить, что причиной повышенного содержания уксусного альдегида и образования ацетона в исследуемом образце водки «Береза» может является наличие лимонной кислоты

в составе напитка. Важно отметить, что на этикетке водки «Береза» в информации о составе отсутствуют сведения о наличии лимонной кислоты.

В этой связи целесообразно проведение исследования образца методом капиллярного электрофореза, который позволяет определять, в том числе и лимонную кислоту. С применением метода капиллярного электрофореза по ГОСТ 31724–2012 «Водки, водки особые и вода для их приготовления. Определение массовой концентрации катионов, аминов, анионов неорганических и органических кислот методом капиллярного электрофореза» [18] исследован образец водки «Береза» (рисунок 5).

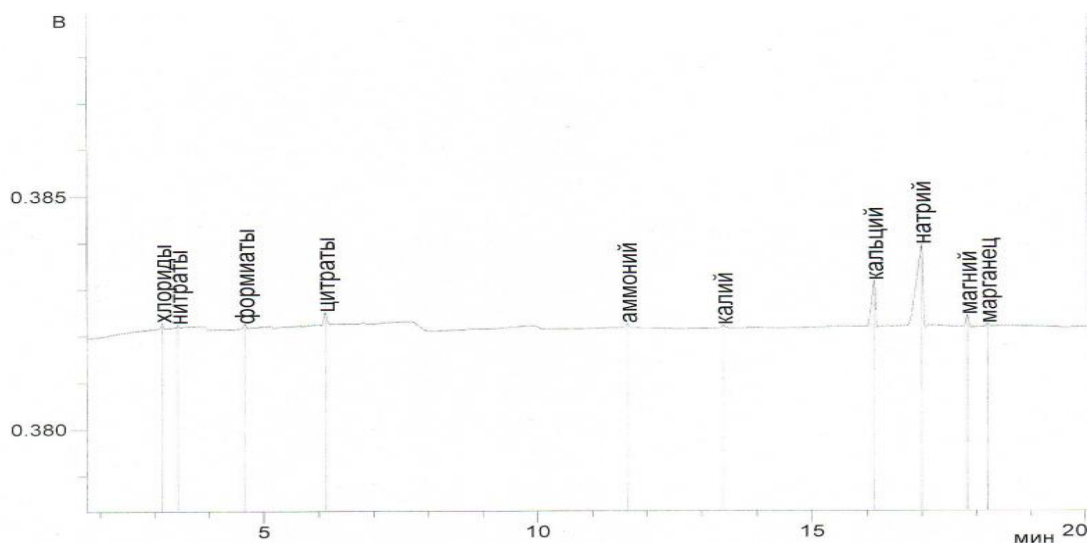


Рисунок 5. Электрофореграмма водки «Береза»

Figure 5. Electrophoregram of "Birch" vodka

Установлено, что в образце присутствуют хлориды, нитраты, формиаты, аммоний, калий магний, массовая концентрация которых составляет менее $0,5 \text{ мг/дм}^3$ каждого. Кроме того, обнаружены цитраты (лимонная кислота) массовой концентрацией $2,32 \pm 0,33 \text{ мг/дм}^3$, кальций $4,11 \pm 0,58 \text{ мг/дм}^3$, натрий $14,33 \pm 2,01 \text{ мг/дм}^3$ и марганец $0,32 \pm 0,05 \text{ мг/дм}^3$.

В целях выявления возможных путей внесения лимонной кислоты проведены исследования ионного состава березового сока, используемого при приготовлении купажа водки «Береза». Показано на рисунке 6, что массовая концентрация хлоридов в исследуемом образце составляет $7,52 \pm 10,05 \text{ мг/дм}^3$, сульфатов $18,79 \pm 2,63 \text{ мг/дм}^3$, оксалатов $0,24 \pm 0,04 \text{ мг/дм}^3$, формиатов $18,84 \pm 2,64 \text{ мг/дм}^3$, фторидов $2,02 \pm 0,28 \text{ мг/дм}^3$, фумаратов $5,90 \pm 0,82 \text{ мг/дм}^3$, малаатов $16,60 \pm 2,32 \text{ мг/дм}^3$, цитратов $315,72 \pm 44,2 \text{ мг/дм}^3$, гликолятов $17,82 \text{ мг/дм}^3 \pm 2,49$, ацетатов $33,80 \pm 4,73 \text{ мг/дм}^3$, лактатов

$10,05 \pm 1,41 \text{ мг/дм}^3$, фосфатов $26,38 \pm 3,69 \text{ мг/дм}^3$, аммония $1,70 \pm 0,24 \text{ мг/дм}^3$, калия $16,872,36 \text{ мг/дм}^3$, кальция $83,23 \pm 11,65 \text{ мг/дм}^3$, натрия $1,02 \pm 0,14 \text{ мг/дм}^3$, магния $18,93 \pm 2,65 \text{ мг/дм}^3$, марганца $5,21 \pm 0,73 \text{ мг/дм}^3$.

Анализ информации научных источников показал, что лимонная кислота массовой концентрацией $315,72 \pm 44,2 \text{ мг/дм}^3$ не является характерным компонентом березового сока [19, 20].

Таким образом, в ходе проведенных исследований установлено, что образец березового сока содержит катионы, анионы неорганических и органических кислот, в том числе и цитрат-ионы, массовой концентрацией $315,72 \pm 14 \text{ мг/дм}^3$. В этой связи, с высокой степенью вероятности можно предположить, что лимонную кислоту производители березового сока использовали в качестве регулятора кислотности. Важно отметить, что данный факт не нашел отражения на этикетке емкости березового сока.

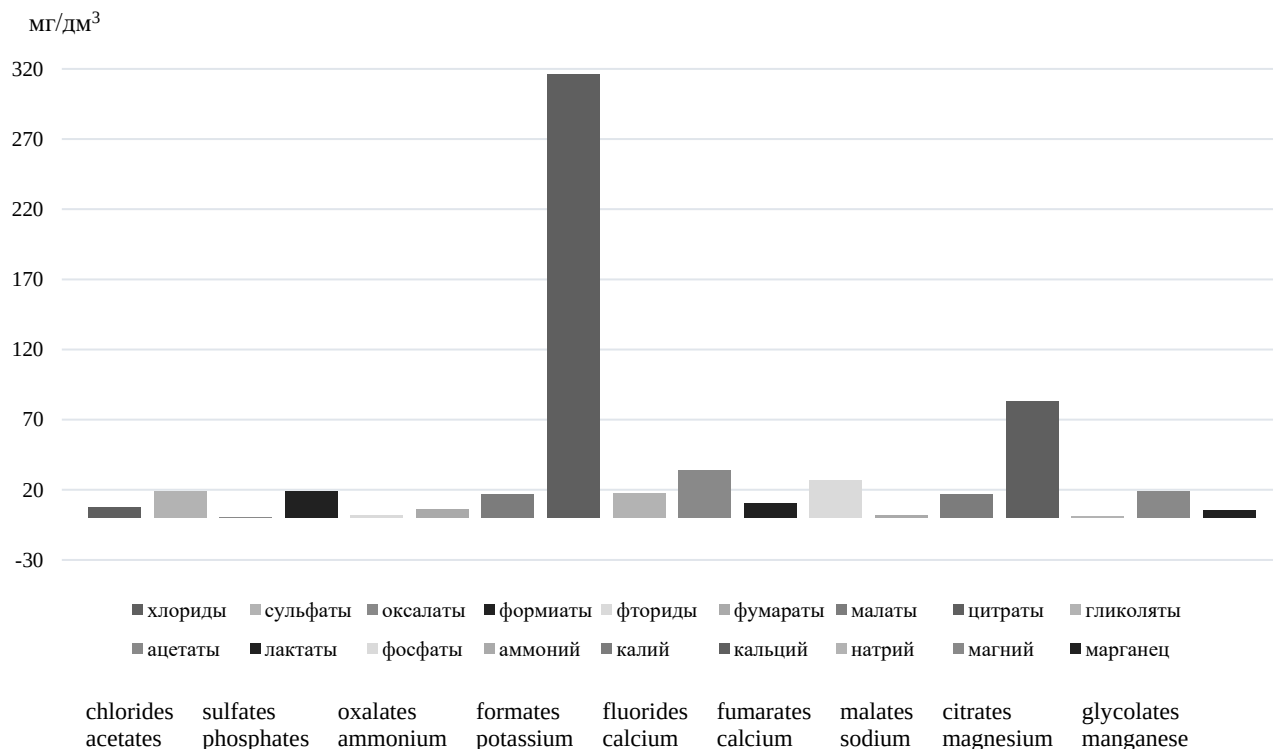


Рисунок 6. Ионный состав березового сока

Figure 6. Ionic composition of birch sap

На основании вышеизложенного, можно сделать вывод, что целесообразно учитывать возможное влияние ингредиентов на ионный состав спиртных напитков. Это позволит более точно контролировать и регулировать химический состав спиртных напитков в целях обеспечения выпуска продукции с заданными качественными характеристиками. Кроме того, исследование химического состава полуфабрикатов на всех стадиях технологического процесса будет способствовать соответствию требованиям и нормативам по содержанию определенных веществ в алкогольных напитках.

Закключение

В процессе исследований предложен новый комплексный подход к определению химического

состава водок. Составлен принципиальный алгоритм комплексного исследования водок методом газовой газовой хроматографии, хромато-масс-спектрометрии, капиллярного электрофореза. На примере водки «Береза» изучен химический состав летучих органических примесей и ионный состав спиртного напитка.

Установлены возможные причины повышенного содержания уксусного альдегида и образования ацетона в водке. Показано, что комплексное использование инструментальных методов анализа позволяет не только установить химический состав спиртного напитка, но и выявить причины образования некоторых химических соединений, образующихся в процессе хранения.

Литература

- 1 ГОСТ 33880–2016. Напитки спиртные. Термины и определения. Москва: Стандартинформ, 2019. 12с.
- 2 Агафонов Г.В. Инновационные решения в технологии производства алкогольной продукции // Материалы LVI отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2017 год. 2018. С. 59-59.
- 3 Новикова И.В., Агафонов Г.В., Яковлев А.Н., Чусова А.Е. Технологическое проектирование производства спиртных напитков. Санкт-Петербург: Лань, 2015. 384 с.
- 4 Яровенко В.Л. Справочник технолога ликероводочного производства; под ред. В.Л. Яровенко, И.И. Бурачевского. М.: ВО «Агропромиздат», 1988. 205 с.
- 5 Шелехова Н.В., Поляков В.А. Совершенствование системы контроля технологических процессов производства спиртных напитков // Пиво и напитки. 2017. № 1. С 34–36.
- 6 Шелехова Н.В. Экспресс метод определения анионов в алкогольных напитках на основе сочетания КЭ-КД // Сорбционные и хроматографические процессы. 2023. Т. 23. № 2. С. 199–215.
- 7 Якуба Ю.Ф., Темердашев З.А. Хроматографические методы в анализе и идентификации виноградных вин // Аналитика и контроль. 2015. Т. 19. № 4. С. 288–301.

- 8 Шелехова Н.В. Экспресс-метод определения летучих органических примесей в спиртных дистиллированных напитках на основе сочетания ГХ/ПИД и ГХ/МСД // Сорбционные и хроматографические процессы. 2022. Т.22. № 1. С. 58–68. doi: 10.17308/sorpchrom.2022.22/9021
- 9 Лебедев А.Т. Современная масс-спектрометрия в России и в мире // Мир измерений. 2013. № 11. С. 4–9.
- 10 Buglass A.J. Handbook of alcoholic beverages: Technical, analytical and nutritional aspects. JohnWiley&Sons, 2011. 1208 p. doi: 10.1002/9780470976524
- 11 ГОСТ 30536–2013. Водка и спирт этиловый из пищевого сырья. Газохроматографический экспресс-метод определения содержания токсичных микропримесей. Москва: Стандартинформ, 2014. 33 с.
- 12 ГОСТ 12712–2013. Водки и водки особые. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ, 2014. 6 с.
- 13 ГОСТ 32039–2013. Водка и спирт этиловый из пищевого сырья. Газохроматографический метод определения подлинности.
- 14 Рудаков О.Б., Никитина С.Ю. Тренды в аналитическом контроле качества питьевого этанола. Аналитика и контроль. 2017. Т.21. №3. С.180-196. <https://doi.org/10.15826/analitika.2017.21.3.010>
- 15 Савчук С.А., Нужный В.П. К вопросу об идентификации природы этилового спирта. Ацетон в водках и спиртах различного происхождения // Партнеры и конкуренты. 2005. № 1. С. 32-38.
- 16 Нужный В.П., Савчук С.А. Токсичность алкогольных напитков и ацетон // Токсикологический вестник. 2005. № 6. С. 22-24.
- 17 Поляков В.А., Абрамова И.М., Зенина Г.П., Шелехова Т.М. и др. Образование ацетона и других микропримесей в водках в процессе хранения // Пиво и напитки. 2014. № 6. С. 10–13.
- 18 ГОСТ 31724–2012. Водки, водки особые и вода для их приготовления. Определение массовой концентрации катионов, аминов, анионов неорганических и органических кислот методом капиллярного электрофореза. Москва: Стандартинформ, 2013. 47 с.
- 19 Лисова О.С., Царалунга В.В., Прохорова Н.Л. Проблемы и перспективы заготовки березового сока в лесах Воронежской области // НАУ. 2015. № 10–1 (16). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-zagotovki-berezovogo-soka-v-lesah-voronezhskoy-oblasti>
- 20 Янин Е.П. Химические элементы в березовом соке как индикаторы техногенного загрязнения окружающей среды // Экологическая экспертиза. 2012. № 1. С. 101–112.

References

- 1 GOST 33880–2016. Alcoholic drinks. Terms and Definitions. (in Russian).
- 2 Agafonov G.V. Innovative solutions in the technology of alcohol production. Materials of the LVI reporting scientific conference of teachers and researchers of VSUET for 2017. 2018. pp. 59-59. (in Russian).
- 3 Novikova I.V., Agafonov G.V., Yakovlev A.N., Chusova A.E. Technological design for the production of alcoholic beverages. St. Petersburg, Lan, 2015. 384 p. (in Russian).
- 4 Yarovenko V.L. Directory of distillery production technologist; edited by V.L. Yarovenko, I.I. Burachevsky. M., VO "Agropromizdat", 1988. 205 p. (in Russian).
- 5 Shelekhova N.V. Polyakov V.A. Improving the control system for technological processes in the production of alcoholic beverages, Beer and drinks. 2017. no. 1. pp. 34–36. (in Russian).
- 6 Shelekhova N.V. Express method for determining anions in alcoholic beverages based on the EC-CD combination. Sorption and chromatographic processes. 2023. vol. 23. no. 2. pp. 199–215. (in Russian).
- 7 Yakuba Yu.F., Temerdashev Z.A. Chromatographic methods in the analysis and identification of grape wines. Analytics and control. 2015. vol. 19. no. 4. pp. 288–301. (in Russian).
- 8 Shelekhova N.V. Express method for determining volatile organic impurities in distilled alcoholic beverages based on a combination of GC/FID and GC/MSD. Sorption and chromatographic processes. 2022. vol. 22. no. 1. pp. 58–68. doi: 10.17308/sorpchrom.2022.22/9021 (in Russian).
- 9 Lebedev A.T. Modern mass spectrometry in Russia and in the world. World of measurements. 2013. no. 11. pp. 4–9. (in Russian).
- 10 Buglass A.J. Handbook of alcoholic beverages: Technical, analytical and nutritional aspects. JohnWiley&Sons, 2011. 1208 p. doi: 10.1002/9780470976524
- 11 GOST 30536–2013. Vodka and ethyl alcohol from food raw materials. Gas chromatographic express method for determining the content of toxic microimpurities. Moscow, Standartinform, 2014. 33 p. (in Russian).
- 12 GOST 12712–2013. Vodkas and vodkas are special. General technical conditions. (in Russian).
- 13 GOST 32039–2013. Vodka and ethyl alcohol from food raw materials. Gas chromatographic method for determining authenticity. (in Russian).
- 14 Rudakov O.B., Nikitina S.Yu. Trends in analytical quality control of drinking ethanol. Analyticsandcontrol. 2017; 21(3):180-196. <https://doi.org/10.15826/analitika.2017.21.3.010>
- 15 Savchuk S.A., Nuzhny V.P. On the issue of identifying the nature of ethyl alcohol. Acetone in vodkas and alcohols of various origins. Partners and competitors. 2005. no. 1. pp. 32-38. (in Russian).
- 16 Nuzhny V.P., Savchuk S.A. Toxicity of alcoholic beverages and acetone. Toxicological Bulletin. 2005. no. 6. pp. 22-24. (in Russian).
- 17 Polyakov V.A., Abramova I.M., Zenina G.P., Shelekhova T.M. et al. Formation of acetone and other microimpurities in vodkas during storage. Beer and drinks. 2014. no. 6. pp. 10–13. (in Russian).
- 18 GOST 31724–2012. Vodkas, special vodkas and water for their preparation. Determination of the mass concentration of cations, amines, anions of inorganic and organic acids by capillary electrophoresis. Moscow, Standartinform, 2013. 47 p. (in Russian).
- 19 Liso O.S., Tsaralunga V.V., Prokhorova N.L. Problems and prospects for collecting birch sap in the forests of the Voronezh region. NAU. 2015. no. 10–1 (16). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-zagotovki-berezovogo-soka-v-lesah-voronezhskoy-oblasti>
- 20 Yanin E.P. Chemical elements in birch sap as indicators of technogenic environmental pollution. Ecological Expertise. 2012. no. 1. pp. 101–112. (in Russian).

Сведения об авторах

Геннадий В. Агафонов д.т.н., профессор, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, gvagafonov@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2133-5606>

Константин К. Полянский д.т.н., профессор, кафедра коммерции и товароведения, Воронежский филиал «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова», ул. Карла Маркса, 67а, г. Воронеж, 394030, Россия, tovar201@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5659-1423>

Наталья В. Шелехова д.т.н. заведующий лабораторией, лаборатория хроматографии, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии - филиал ФГБУН "Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи", ул. Самокатная, 4 Б, г. Москва, 111033, Россия, 4953610101@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7735-2942>

Алла Е. Чусова к.т.н., доцент, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, hycovai@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1237-4870>

Михаил П. Тарарыков магистрант, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, cmitttt@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-2254-5293>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Gennady V. Agafonov Dr. Sci. (Engin.), professor, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gvagafonov@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2133-5606>

Konstantin K. Polyansky Dr. Sci. (Engin.), professor, commerce and commodity science department, Voronezh branch of the Russian Economic University named after G.V. Plekhanov", st. Karla Marksa, 67a, Voronezh, 394030, Russia, tovar201@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5659-1423>

Natalia V. Shelekhova Dr. Sci. (Engin.), professor, chromatography laboratory, Russian Research Institute of Food Biotechnology is a Branch of Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety, 4 B Samokatnaya St., Moscow, 111033, Russia, 4953610101@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7735-2942>

Alla E. Chusova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, hycovai@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1237-4870>

Mikhail P. Tararykov master student, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, cmitttt@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-2254-5293>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/01/2024	После редакции 05/02/2024	Принята в печать 23/02/2024
Received 18/01/2024	Accepted in revised 05/02/2024	Accepted 23/02/2024

Обзор: биотехнология пива с применением дрожжей рас квейк, особенности производства и новые технологии

Янис Р. Арустамов ¹	aru.yanis@yandex.ru	
Инна В. Новикова ¹	noviv@list.ru	 0000-0002-2360-5892
Александр С. Муравьев ¹	hntun@mail.ru	 0000-0002-5989-0752

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

Аннотация. Квейк – это традиционный скандинавский штамм дрожжей, который был использован для варки пива в Швеции, Норвегии и Финляндии на протяжении тысячелетий. Эти дрожжи отличаются высокой температурной толерантностью, что позволяет использовать их при более высоких температурах во время брожения. Применение квейк-дрожжей в пивоварении становится все более популярным среди пивоваров во всем мире из-за их уникальных свойств. Квейк-дрожжи могут придавать пиву фруктовые и цитрусовые нотки, а также другие интересные ароматы и вкусы. Они также способны быстро и очень эффективно газировать пиво, что делает процесс производства более быстрым и удобным. Биотехнология пива с использованием квейк-дрожжей позволяет пивоварам создавать уникальные сорта пива с различными характеристиками. Эти дрожжи могут быть использованы как для традиционных стилей пива, так и для современных экспериментальных рецептов. Их высокая активность и способность работать при различных температурах делают их идеальным выбором для крафтового пивоварения. Биотехнология пива с использованием квейк-дрожжей предоставляет пивоварам новые возможности для творчества и экспериментов, что способствует развитию индустрии крафтового пивоварения и созданию уникальных и интересных сортов пива для любителей крафта.

Ключевые слова: квейк, дрожжи, брожение, генетика, биотехнология.

Overview: beer biotechnology using kweik yeast, production features and new technologies

Yanis R. Arustamov ¹	aru.yanis@yandex.ru	
Inna V. Novikova ¹	noviv@list.ru	 0000-0002-2360-5892
Aleksandr S. Muravev ¹	hntun@mail.ru	 0000-0002-5989-0752

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Kweik is a traditional Scandinavian yeast strain that has been used to brew beer in Sweden, Norway and Finland for thousands of years. This yeast has a high temperature tolerance, which allows it to be used at higher temperatures during fermentation. The use of kweik yeast in brewing is becoming increasingly popular among brewers around the world because of its unique properties. Kweik yeast can impart fruity and citrus notes, as well as other interesting aromas and flavors to beer. They are also able to carbonate beer quickly and very efficiently, making the production process faster and more convenient. Kweik yeast beer biotechnology allows brewers to create unique beers with different characteristics. This yeast can be used for both traditional beer styles and modern experimental recipes. Their high activity and ability to work at different temperatures make them an ideal choice for craft brewing. Kweik yeast beer biotechnology provides brewers with new opportunities for creativity and experimentation, which contributes to the development of the craft brewing industry and the creation of unique and interesting beers for craft enthusiasts.

Keywords: kweik, yeast, fermentation, genetics, biotechnology.

Введение

Выбор пивных дрожжей на протяжении веков основывался на их важных свойствах: эффективно сбраживать сахара в сусле (мальтозу и мальтотриозу); уменьшать образование фенольного привкуса (важно для светлого пива); и обеспечивать эффективную флокуляцию [1]. Одомашнивание пивоваренных дрожжей, предположительно, произошло из-за частого повторного использования и обмена между пивоварами [2].

По словам К. Хабшида, исторически пивоварни сохраняли эти штаммы – некоторые более 100 лет – постоянно используя их в пивоварении и выпечке хлеба [3].

А. Тяхт утверждает, что при брожении в промышленных масштабах предпочтение отдается использованию заквасочных культур, а не инокулированию, для того чтобы избежать технических проблем, связанных с медленной скоростью брожения, изменчивостью конечного

Для цитирования

Арустамов Я.Р., Новикова И.В., Муравьев А.С. Обзор: биотехнология пива с применением дрожжей рас квейк, особенности производства и новые технологии // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 173–180. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-173-180

For citation

Arustamov Ya.R., Novikova I.V., Muravev A.S. Overview: beer biotechnology using kweik yeast, production features and new technologies. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 173–180. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-173-180

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

продукта и загрязнением дрожжами, которые могут испортить конечный продукт [4]. Коммерческие штаммы дрожжей являются изолятами из среды или были получены в результате селекции, в ходе которых они были отобраны по определенным фенотипическим признакам, таким как эффективное потребление азота [5], быстрая скорость брожения [6] и приятный ароматический профиль [7]. Эти коммерческие штаммы обычно проходили различные этапы одомашнивания, при этом точные условия зависели от методик, применяемых на предприятии [8]. Таким образом, признаки, представляющие промышленный интерес, могут различаться у разных рас, отражая специфику среды их одомашнивания.

Производство пива, особенно крафтового, в последние годы выросло, как и разработка новых продуктов. По этой причине исследования были сосредоточены на отборе дрожжей с хорошей кинетикой брожения, а также пива с выдающимися ароматическими характеристиками. Конечный вкус и аромат пива представляет собой комбинацию сотен активных ароматических соединений, образующихся в основном во время брожения в результате метаболизма дрожжей (высшие спирты, сложные эфиры, альдегиды и вицинальные дикетоны). Аналогичным образом, несколько исследований продемонстрировали потенциал диких дрожжей рода *Saccharomyces* как в выработке ароматических веществ, так и в производстве полезных соединений, представляющих интерес, таких как мелатонин [9].

Дрожжи Квейк

Х. Гейр, пишет, что квейк – это традиционный скандинавский штамм дрожжей, который был использован для сбраживания пива в Швеции, Норвегии и Финляндии на протяжении тысячелетий. Эти дрожжи отличаются высокой термотолерантностью, что позволяет использовать их при более высоких температурах во время брожения. Обычно норвежский фермерский эль производился из ячменного солода и хмелевого сусла. Однако в него также добавляли хвою можжевельника [10–11].

Применение квейк-дрожжей в пивоварении становится все более популярным среди пивоваров во всем мире из-за их уникальных свойств. Квейк-дрожжи могут придавать пиву фруктовые и цитрусовые нотки, а также другие интересные ароматы и вкусы. Они также способны быстро и очень эффективно насыщать пиво CO_2 , что делает процесс производства более быстрым и удобным [12].

По словам Б. Фостера, квейк привлекли внимание пивоваренного сообщества из-за

их отличия от обычно используемых пивоваренных дрожжей [13]. Эти дрожжи веками использовались в западной Норвегии для приготовления традиционного фермерского эля, для которого характерно добавление дрожжей в сусло при температуре в диапазоне 28–40 °C и последующее быстрое брожение, завершающееся в течение 1–2 дней [14].

Эти дрожжи могут храниться в сухом виде длительное время (до 1 года и более), а сусло (с более высокой начальной концентрацией сусла ~19%) обычно выдерживают при температуре 28–40 °C [15]. Нет ничего необычного в том, что время сбраживания часто длится 1–2 дня [16]. Получаемое пиво во многом напоминает светлое пиво, произведенное на *Saccharomyces pastorianus* (традиционных пивных дрожжах). *S. pastorianus*, однако, гораздо более чувствителен к температуре, требует более низких температур для брожения (10–15 °C), диациетил-паузы, более длительного брожения (до 10 дней), а срок созревания – 2–3 недели [17]. Дрожжи квейк гораздо более устойчивы к температуре и спирту (некоторые выдерживают до 16 % об. этанола), требуют меньше времени на брожение, не содержат остатков диацитила и не требуют длительного созревания – характеристики, которые, несомненно, будут интересны пивоваренной промышленности.

Генетика дрожжей квейк

Б. Галлон определил, что последовательно-сти генома шести штаммов квейк идентифицировали их как имеющие смешанное происхождение, причем один родительский штамм происходил из образца «Beer 1», как определено Б. Галлоном [18], а другой – как пока неизвестный родительский. Генетические и фенотипические характеристики выявили общие признаки одомашнивания и перспективные характеристики для производства пива. К ним относятся эффективная флокуляция (>80 % проанализированных штаммов), поддерживаемая повышенными вариациями числа копий (CNV) различных генов FLO, эффективное потребление основных сахаров в сусле с повышенными CNV генов метаболизма мальтозы и мальтотриозы (MAL) и гомозиготные однонуклеотидные полиморфизмы (SNP) с потерей функции в генах (PDC1 и FDC1), ответственных за выработку 4-винилгваякола с фенольным привкусом, что делает их отрицательными по фенольному привкусу (POF). Наконец, фенотипическое тестирование показало устойчивость штаммов квейк к этанолу и термотолерантность, тем самым расширяя потенциальное применение этих дрожжей.

Эти штаммы квейк, хотя и тесно связаны филогенетически, генетически и функционально отличаются друг от друга.

Вышеупомянутые исследования брожения проводились при 30 °С. В настоящее время нет более подробной информации о диапазоне температур брожения, при которых различные штаммы квейк эффективно осуществляют брожение. Указанные показатели этанола и термотолерантности свидетельствуют о повышенной способности штаммов квейк бороться со стрессами во время брожения при более высоких температурах, тем самым повышая их потенциал для успешного завершения брожения при более высоких температурах. В настоящее время отсутствует понимание специфической кинетики брожения различных штаммов квейк в более широком диапазоне температур.

Свойства клеток дрожжей квейк

Устойчивость к этанолу и термическому стрессу – полигенные признаки, которые зависят от множества путей борьбы с этим воздействием окружающей среды на дрожжи. Высокие концентрации этанола и температуры нарушают целостность клеточных стенок, текучесть мембран и их целостность, что приводит к утечке клеточного содержимого в окружающую среду и денатурирует структуру белка, что в итоге влияет на его функцию. Вместе эти проблемы нарушают структурную целостность клетки, негативно влияя на ее метаболизм, приводя к снижению клеточной функциональности, что может привести к гибели клеток. Дрожжевые клетки борются с повышением концентрациями этанола или высокими температурами с помощью внутренних механизмов, которые включают стабилизацию клеточных стенок и клеточных мембран и увеличение способности клеток сворачивать белки. С этой целью молекулярные шапероны, такие как белки теплового шока (Hsp), индуцируются стрессом окружающей среды для стабилизации сворачивания белка, тем самым защищая от денатурации с потерей определенных функций. Кроме того, производство и накопление трегалозы, дисахарида глюкозы, который может функционировать как резервированный углевод, образующийся при ограничении потребления глюкозы, индуцируется высокими температурами и, как известно, защищает плазматическую мембрану и белки от воздействия окружающей среды (тепло, холод, этанол) и клеточных стрессов (АФК/окислительный стресс).

Р.С. Магальяес выявил, что внутриклеточные уровни трегалозы контролируются скоординированной регуляцией реакций биосинтеза и гидролиза трегалозы, которые регулируются сигналами питательных веществ и реакциями на стресс в течение жизненного цикла [20]. В ответ на стресс индуцируется биосинтез трегалозы и снижается гидролиз трегалазами, что приводит к накоплению трегалозы внутриклеточно, где, как предполагается, что она связывает и стабилизирует белки и мембраны. Высокоаффинный транспортер трегалозы, Agt1, транспортирует накопленную трегалозу в периплазматическое пространство, где, как предполагается, она связывает полярные головки фосфолипидов во внешнем листочке плазматической мембраны для защиты ее от воздействия окружающей среды [21].

Происхождение

Дрожжи квейк давно известны в Норвегии и других частях Скандинавии. Изначально их использовали как для выпечки хлеба, так и для производства пива. Только многовековой опыт домашних пивоваров, в основном норвежских, которые сохранили традиционные способы приготовления пива, а также штаммы дрожжей, используемые в процессе, привел к их отделению от пива, пивоварни или окружающей среды. Этот район славится традиционными сортами *stjærdalsøl*, *konnjøl* и *maltøl*. Дрожжи квейк внутри своей группы делятся на две отдельные подгруппы. В состав первого входят дрожжи из регионов Гранвин, Странда, Ледал и Восс, тогда как во втором – дрожжи из регионов Сиккилвен, Хорниндал и Стордал. Интересно, что обе группы географически соответствуют северу и югу от ледника Йостедал. Результаты последнего генотипирования были опубликованы в 2018 году. Штаммы дрожжей квейк из девяти различных норвежских источников были охарактеризованы с помощью ПЦР-дактилоскопии, полногеномного секвенирования выбранных штаммов и фенотипического скрининга. Авторы обнаружили, что изученные штаммы квейк генетически отличались от других одомашненных штаммов *Saccharomyces* [22].

Хранение дрожжей

Дрожжи квейк хранятся очень специфическим способом, а именно на специальных деревянных конструкциях в высушенном виде. Эти деревянные конструкции представляют собой надрезанные бревна или специальные конструкции овальной формы. Такая деревянная

конструкция погружается в дрожжевой осадок, образовавшийся после брожения, затем в муку или золу и, наконец, высушивается, так что ее можно хранить в течение длительного периода, в течение года или более, в то время как жидкая часть дрожжей будет очень быстро портиться.

Такой метод хранения суспензии означает, что в дополнение к квейк дрожжам в этих конструкциях также могут присутствовать переносимые по воздуху дрожжи и бактерии [23]. Следовательно, в зависимости от региона они могут существенно отличаться от тех, которые были одомашнены и сохранялись в географически изолированных пивоварнях [24].

Характеристики дрожжей

Из-за небольшого количества исследований дрожжей квейк их характеристики до конца еще не изучены. Кроме того, традиционная дрожжевая суспензия, полученная для исследований, очень часто состоит из различных штаммов, обладающих совершенно разными свойствами, что затрудняет как исследование, так и выводы [25]. Часто совместное действие нескольких штаммов бактерий приводит к совершенно иным результатам, чем при использовании одного штамма. Однако большинство штаммов квейк фенотипически отличаются от широко известных и используемых пивных дрожжей (дрожжей высшего брожения).

К. Адаменко утверждает, что отличительными особенностями дрожжей квейк являются сильная флокуляция, высокая скорость брожения, отсутствие фенольного послевкусия, исключительная устойчивость к температуре во время брожения ($>30\text{ }^{\circ}\text{C}$), отсутствие или небольшое количество образующегося 4-винилгваякола (ответственного за аромат гвоздики) и высокая переносимость спирта, а также уникальный профиль вкуса. На развитие таких свойств могло повлиять сухое хранение в вышеупомянутых деревянных конструкциях [26].

Благодаря своим характеристикам штаммы дрожжей квейк могут оказаться весьма полезными в качестве новой группы пивных дрожжей. Выбранные штаммы позволяют сохранить соответствующие физико-химические характеристики пива в стиле New England Pale Ale, которые также характеризуются антиоксидантной активностью, а также новым и интересным профилем летучих соединений и вкусовыми свойствами. Насколько известно, в доступной литературе есть только одна работа, посвященная использованию дрожжей квейк для приготовления

крепкого пива, в то время как при их использовании очень важно контролировать процесс приготовления светлого пива. В темных солодах типа стаут соединения реакции Майяра влияют на метаболизм дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Их добавление в технологический процесс влияет как на основные технологические параметры пива, так и на профиль соединений, которые являются побочными продуктами брожения этанолом и влияют на вкусовые качества [27]. Существуют определенные различия в технологии производства темного и светлого пива, которые могут напрямую повлиять на процесс производства пива с использованием дрожжей квейк.

Современные исследования квейк

Целью диссертации И. Тодда, было изучить несколько аспектов дрожжей квейк. Во-первых, были изучены природа и штаммовый состав суспензий квейк, чтобы определить степень вариативности в пределах определенной культуры. Впоследствии была исследована способность отдельных штаммов квейк переносить стрессоры, присутствующие во время брожения. На основе этого анализа было проведено сравнение эффективности брожения штаммов квейк с современными пивными дрожжами при различных температурах. Это было достигнуто путем оценки хода брожения, а также качественной оценке выработки вкусовых соединений. В рамках этого исследования вклад отдельных изолятов в ферментацию оценивался с использованием различных рас дрожжей квейк, полученных из одной и той же «материнской» культуры [28].

Полученные данные демонстрируют, что дрожжи квейк способны успешно сбрасывать при высоких температурах благодаря своей способности переносить целый ряд стрессовых факторов, включая высокую степень врожденной термостойкости. Анализ летучих компонентов показал, что штаммы квейк уникальны и отличаются от других штаммов пивоваренных дрожжей. Анализ индивидуальных штаммов также позволил предположить, что определенные штаммы могут доминировать, потенциально оказывая большее влияние на получаемое пиво как с точки зрения выхода алкоголя, так и с точки зрения производства вкуса.

В диссертации [29] было изучено микробиологическое разнообразие десяти различных видов квейк. Были выделены, секвенированы и идентифицированы штаммы бактерий и дрожжей

из четырех квейков: Орьясетер, Гауземель, Оттердал и Гамлегруа. Анализы эукариотической и прокариотической микробиоты были проведены на этих квейк, в дополнение к Espe, Tormodgarden, Midtbust, Ebbegarden, Sigmund и Stalljen. Были изучены антибактериальные эффекты можжевельника в отношении молочнокислых бактерий (LAB) *Lactobacillus plantarum*, *Lb. buchneri* и *Lb. brevis*. Квейкс Орьясетер, Гауземель и Гамлегруа были изучены в ходе исследований роста и метаболизма при температурах 22, 30 и 37 °С. Измерения pH, количества клеток, содержания сахара и ароматических компонентов проводились на 0, 2 и 7 сутки инкубации. Исследуемые дрожжи также использовались при пивоварении в пилотном масштабе. Целью было определить различия как в метаболитах, так и в сенсорных характеристиках между культурами. Брожение проводилось при разных температурах. Три образца ($n = 3$) 9 сортов пива, четыре образца ($n = 4$) одного сорта пива и два образца ($n=2$) одного сорта пива с использованием трех температур брожения 22, 30 и 37 °С были проанализированы с помощью газовой хроматографии HSGC).

Дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* были выделены и идентифицированы методом секвенирования по Сэнгеру в Эрьясетере, Гауземеле, Оттердале и Гамлегруа. Бактерии *Lb. plantarum* и *Acetobacter malorum* были выделены и идентифицированы секвенированием по Сэнгеру в Gausemel и Gamlegrua. В квейк были обнаружены варианты последовательности дрожжей *S. cerevisiae*, полученные в результате анализа микробиоты эукариот. Анализ прокариотической микробиоты показал, что все десять квейк, проанализированных в этом исследовании, содержали бактерии. Наблюдалась антибактериальные эффекты экстрактов можжевельника в отношении LAB. Наблюдалась различия в содержании летучих компонентов и общего содержания фенола между готовыми сортами пива, как результат различий в температуре брожения, так и в культуре, используемой для проведения брожения.

Вывод этого исследования заключается в том, что айнерлог (сорт пива), приготовленный из веточек и хвои можжевельника, оказывает антибактериальное действие на LAB. Некоторый эффект наблюдался у незрелых ягод. Все десять квейк, включенных в это исследование, состояли из вариантов последовательности *S. cerevisiae* и вариантов последовательности нескольких бактерий, таких как *Acetobacter spp.*, *Lb. brevis*,

Lb. backii и *Lactococcus lactis*. Более низкие температуры брожения приводят к повышению общего содержания фенолов и сложных эфиров в пиве, сброженного квейк. Добавление квейк в айнерлог привело к более высокому общему содержанию фенола и более низкому содержанию диацетила и сложных эфиров в готовом пиве. Пиво, ферментированное с квейк, содержит более высокие уровни сложных эфиров и более низкие уровни высших спиртов и диацетила, чем пиво, ферментированное с US-05.

Штамм Voss был получен З. Йернесом из Voss в Норвегии. Было обнаружено, что этот штамм поддерживает широкий диапазон температур брожения от 25 до 40 °С, при оптимальном диапазоне от 35 до 40 °С. При оптимальном диапазоне температур может быть достигнута очень быстрая брожение (обычно 2–3 дня) [30].

Типичная норма задачи составляет 50–100 г/л в зависимости от плотности суслу и требуемого количества сложных эфиров (меньшая норма задачи = больше сложных эфиров). Для пивоварения с высокой плотностью может потребоваться более высокая норма задачи и плотности. Профиль вкуса нейтральный с тонкими фруктовыми нотами апельсина и цитрусовых. Эти дрожжи, как и все квейк, обладают высокой флокулянтностью; характеристика, которая была необходима для непрерывного повторного использования и выживания культур [31].

Чаще всего с использованием этих дрожжей производят фермерский эль, современный и традиционный эль, английский эль и IPA. Дрожжи после брожения можно повторно использовать в течение 5 последующих генераций.

Как и в случае с любым штаммом в сухом виде, регидратацию можно проводить перед задачей. Однако самые исследования показали, что разницы в генерации с регидратацией и без нее нет. Сухие дрожжи можно хранить в оригинальной упаковке в закрытом виде при температуре 5–7 °С до истечения срока годности.

Для оценки различий в профиле летучих соединений темного и светлого пива, сброженного разными штаммами пивных дрожжей, была проведена газовая хроматография с пламенно-ионизационным определением и газохроматографический масс-спектрометрический анализ восьми сортов пива. Преобладающей группой соединений во всех проанализированных сортах пива были спирты (56,41–72,17 %), затем сложные эфиры (14,58–20,82 %), альдегиды (8,35–20,52 %), терпены и терпеноиды (1,22–6,57 %) и кетоны

(0,42–1,00 %) [32]. Преобладающими высшими спиртами были 2-метилпропан-1-ол, 3-метилбутанол, фенэтиловый спирт, среди альдегидов фурфурол, деканал, нонанал, а среди сложных эфиров этилацетат, фенилэтилацетат и изоамилацетат. Пиво, ферментированное дрожжами высшего брожения *Saccharomyces cerevisiae* var. *diastaticus*, имело самое высокое содержание летучих веществ. Добавление темного солода в процессе варки суслу не повлияло на общее содержание летучих веществ, но для некоторых сортов пива это вызвало изменения в общем содержании сложных эфиров, терпенов и терпеноидов. Различия в общем содержании летучих веществ в пиве, сброженном разными штаммами дрожжей, в основном обусловлены выделяемыми сложными эфирами и спиртами.

Исследователи Калифорнийского университета использовали дрожжи *S. kudriavzevii*, *S. mikatae*, *S. paradoxus*, *S. bayanus* и *S. uvarum* для сбраживания суслу в двух образцах, с помощью одного бродильного аппарата и добавлением 10 г/л сухого хмеля. Аналитические измерения проводились каждый день брожения и сравнивались с контрольными образцами SafAle™ US-05 и SafLager™ W 34/70 [33]. Готовое пиво также подвергали сенсорной оценке. Все сорта пива обладали пряными характеристиками, вероятно, из-за присутствия фенолов; сухое охмеление усиливало фруктовые нотки, а также горечь и терпкость. Все виды дрожжей, включенные в это исследование, продемонстрировали большой потенциал для пивоварения.

Квейк в процессе брожения

Генетические исследования показывают, что квейк – это уникальная и древняя группа дрожжей, отличная от других одомашненных штаммов *S. cerevisiae*. Учитывая возможное дальневосточное происхождение дрожжей квейк, очевидный эндемизм западной Норвегии остается большим парадоксом. Эти находки имеют важные последствия для понимания одомашнивания дрожжей и использования квейк в современной практике пивоварения.

Выбор биологического материала может предложить эффективный метод увеличения концентрации фенольных соединений в пиве и повышения его антиоксидантного потенциала. После первичной и вторичной брожения все сорта пива, ферментированные квейк, имели более высокое или аналогичное содержание фенольных соединений по сравнению с контрольным пивом.

После выдержки в пиве LK, VK2 и FM53 было определено более высокое содержание фенольных соединений по сравнению с контрольным образцом. Дрожжи типа квейк, HVK и FM53, позволили производить пиво с более высокой антиоксидантной активностью, измеренной в анализе DPPH•, по сравнению с контрольным образцом. Самая высокая антиоксидантная способность, измеренная в тесте ABTS•+, была показана для готового пива HVK, тогда как самые высокие значения FRAP были обнаружены для готовых сортов пива FM53 и VK2 [34].

Пиво, сброженное дрожжами типа квейк, имело различные концентрации идентифицированных летучих соединений по сравнению с контрольным образцом. В образцах LK, FM53 и HVK концентрация летучих соединений была ниже, чем в контрольном пиве, тогда как в пиве VK2 содержание этих соединений было аналогичным. Основные летучие соединения, идентифицированные в ходе исследования, включали этилацетат и гексанат в образце HVK; фенэтиловый спирт в образце пива LK; 2-метилбутанол и 3-метилбутанол в образце VK2; 1-пропанол в образце пива FM53; и, наконец, этилок-таноат и деканоат в контрольном образце US-05 [35].

Группа дегустаторов отдала больше предпочтений пиву, сброженному дрожжами квейк, из-за более интенсивного фруктового аромата. Степень горечи также была оценена более высоко по сравнению с пивом, полученным с помощью коммерческого штамма дрожжей. Пиво, получившее лучшую оценку по вкусу и аромату, было ферментировано с использованием HVK [36].

Заключение

Биотехнология пива с использованием квейк-дрожжей позволяет пивоварам создавать уникальные сорта пива с различными характеристиками. Эти дрожжи могут быть использованы как для традиционных стилей пива, так и для современных экспериментальных рецептов. Их высокая активность и способность работать при различных температурах делают их идеальным выбором для крафтового пивоварения.

Биотехнология пива с использованием квейк-дрожжей предоставляет пивоварам новые возможности для творчества и экспериментов, что способствует развитию индустрии крафтового пивоварения и созданию уникальных и интересных сортов пива для любителей крафта.

References

- 1 Adamenko K., Kava-Rigelska J., Kuharska A.Z. Characteristics of non-alcoholic Cornelian cherry sour beer brewed with special yeast *Saccharomyces ludwigii* // Food chemistry. 2020. V. 312. P. 125968.
- 2 Benucci I., Cecchi T., Lombardelli K., Maresca D. et al. New yeast in microcapsules for primary fermentation of green beer: kinetic properties, volatiles and sensory profile // Food chemistry. 2021. V. 340. P. 127900.
- 3 Bellut K., Arendt E.K. Chance and trial: yeast that does not contain *Saccharomyces* in the preparation of non-alcoholic and low-alcohol beer – Review // J. Am. Soc. Beer. Chemistry. 2019. V. 77. P. 77–91.
- 4 Gallon B., Mertens S., Gordon J.L., Maer S. et al. The origin, evolution, domestication and diversity of *Saccharomyces* brewer's yeast // Curr. Opin. Biotechnology. 2018. V. 49. P. 148–155.
- 5 Guignas I., Breda S., Barros A.I. Characterization and distinction of commercial varieties of Portuguese beer based on phenolic composition and antioxidant capacity // Products. 2021. V. 10. P. 1144.
- 6 Gasinski A., Kava-Rigelska J., Mikulski D., Klosowski G. et al. The use of white grape pomace in brewing technology and their effect on the concentration of esters and alcohols, physico-chemical parameters and antioxidant properties of beer // Food chemistry. 2022. V. 367. P. 130646.
- 7 Garvey E.K., O'Sullivan M.G., Kerry J.P., Kilcauley K.N. Factors influencing the sensory perception of baked confectionery products with modified recipes // Critical edition of Food Science. Interior. 2020. V. 60. P. 1160–1188.
- 8 Gamero A., Dijkstra A., Smith B., De Jong S. The aromatic potential of various types of non-traditional yeast for winemaking // Fermentation. 2020. V. 6. P. 50.
- 9 Kava-Rigelska J., Adamenko K., Kuharska A.Z., Prophet P. et al. Physico-chemical and antioxidant properties of Cornelian cherry beer // Food chemistry. 2019. V. 281. P. 147–153.
- 10 Cortese M., Gigliobianco M.R., Peregrina D.V., Sagratini G. et al. Quantitative determination of phenolic compounds in various varieties of craft beer, wort, initial and spent ingredients by liquid chromatography-tandem mass spectrometry // J. Chromatogr. A. 2020. V. 1612. P. 460622.
- 11 Krogerus K., Preiss R., Gibson B., Krogerus K. et al. A unique hybrid *Saccharomyces cerevisiae* × *Saccharomyces uvarum* isolated from Norwegian farm beer: characterization and reconstruction // The front. Microbiology. 2018. V. 9. P. 2253.
- 12 Li S., Li K., Ni S., Tian Yu. et al. The use of plasma mutagenesis in drug administration and combination therapy to create yeast habits with reduced formation of acetaldehyde // J. Inst. Beer. 2018. V. 124. P. 236–243.
- 13 Luo S.R., Demarche T.A., Deriancho D., Stelik A. et al. Characteristics of fermentation and sensory profiles of new drinks from acidic yeast fermentation serum // Products. 2021. V. 10. P. 1204.
- 14 Laurent J., Struf N., Bautil A., Bakeeva A. et al. The potential of *Kluyveromyces marxianus* for the production of bread from unleavened dough and sourdough with low FODMAP content: an experimental study // Bioprocess technology of food products. 2021. V. 14. P. 1920–1935.
- 15 Magalhães F., Kalton A., Heine R.–L., Gibson B. Psychrotolerant species of *Saccharomyces* and hybrids derived from them have psychrotolerance when baking frozen dough // Food microbiol. 2021. V. 94. P. 103640.
- 16 Magalhães R.S.S. et al. The trehalose protective mechanism during thermal stress in *Saccharomyces cerevisiae*: the roles of Ath1 and Agt1 // FEMS yeast research. 2018. V. 18. №. 6. P. foy066.
- 17 Mulero-Cerezo J., Briz-Redón Á., Serrano-Aroca Á. *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*: Valuable probiotic starter for craft beer production // Applied Sciences. 2019. V. 9. №. 16. P. 3250.
- 18 Oda Yu., Tanizaki S., Yokoyama-Ohtsuka M., Sakurai H. Interspecific hybrid of *Saccharomyces mikatae* and *Saccharomyces cerevisiae* as an alternative strain for baking bread // J. Microbiol. Biotechnology. Food science. 2020. V. 10. P. 127.
- 19 Struif N., Vandevile H., Herrera-Malaver B., Verspruit J. et al. *Kluyveromyces marxianus* yeast allows the production of whole grain bread with a low FODMAP content // Food Microbiol. 2018. V. 76. P. 135–145.
- 20 Tokpokhozin S.E., Fischer S., Becker T. Selection of new *Saccharomyces* yeast to improve the corresponding components of the aroma of beer from sorghum, higher alcohols and esters // Food microbiology. 2019. V. 83. P. 181–186.
- 21 Tyakht A., Kopeliovich A., Klimenko N., Efimova D. et al. Characteristics of bacterial and yeast microbiomes in beer and cider of spontaneous and mixed fermentation // Food microbiol. 2021. V. 94. P. 103658.
- 22 Huang K.J., Lu M.Y., Chang Y.V., Li V.H. Experimental evolution of yeast for resistance to high temperatures // Mole. Biol. Evol. 2018. V. 35. P. 1823–1839.
- 23 Holt S., Mix M.H., de Carvalho B.T., Fulke-Moreno M.R. et al. Molecular biology of fruit and floral aromas in beer and other alcoholic beverages // Microbiol FEMS. Rev. 2019. V. 43. P. 193–222.
- 24 Khreptovich K., Sternitskaya M.K., Kovalska P.D., Mezheevskaya J. Screening of yeast for the production of 2-phenylethanol (with rose flavor) in organic waste media // Lett. Application. Microbiol. 2018. V. 66. P. 153–160.
- 25 Preiss R., Tyrava K. Traditional Norwegian quakes are a genetically distinct group of domesticated brewing yeast *Saccharomyces cerevisiae*. Available at: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2018.02137/full?fbclid=IwAR2x_pS6u95ZtcwcJtalepf7N0KleBYaifJ0OdTgigDRITQUUlzEMafQI
- 26 Kawa-Rygielska J., Adamenko K., Pietrzak W., Paszkot J. et al. Characteristics of new england india pale ale beer produced with the use of Norwegian kveik yeast // Molecules. 2022. V. 27. №. 7. P. 2291.
- 27 Foster B., Tirava S., Ozsakhin E., Lubberts M., Krogerus K., Press R., van der Merwe G. Yeast brewing quakes that cause an increased level of elasticity at an acceptable fermentation temperature of beer and a linkshone accumulation of trivalose // Anterior microbiol. 2022. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2022.747546/full>
- 28 Aazen N.M. Growth, metabolism and brewing beer with kveik. URL: <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/2681970>
- 29 Habshid K. Pseudo-sweet beer – brewing using Lutra® yeast kveik. URL: <https://www.mdpi.com/2311-5637/8/4/410>
- 30 Kava-Rygelska J., Adamenko K., Pietrzak J., Passat J., Glowacki A., Gasinski A., Leszczynski P. The potential of traditional Norwegian yeast квеік for the preparation of new beer on the example of a foreign extra stout // Biomolecules. 2021. URL: <https://www.mdpi.com/2218-273X/11/12/1778>

31 Foster B., Tyrawa C., Ozsahin E., Lubberts M. Traditional Norwegian yeast kveik for the preparation of a new beer on the example of a foreign extra stout // Biomolecules. 2021. doi: 10.1101/2021.07.26.453768

32 Kits D., Garshol L.M. Norwegian kveik brewing yeast are adapted to higher temperatures and give less unpleasant aftertaste under thermal stress than commercial *Saccharomyces cerevisiae* American brewer's yeast // Biorxiv. 2021. doi: 10.1101/2021.06.15.448505

33 Dondrup M., Eiken H.G., Martinussen A.O., Haugland L.K. Traditional Norwegian yeast kveik: an ancient sister group in relation to domesticated *Saccharomyces cerevisiae* // Biorxiv. 2023. doi: 10.1101/2023.07.03.547515

34 Isbell T. Assessment of stress resistance and fermentation efficiency of traditional Norwegian yeast Landras (kveik). URL: <http://eprints.nottingham.ac.uk/72087/>

35 Shayevitz A., Van Zandycke S., Brewing L. Kveik yeast – the process of selection and effectiveness of the Voss strain. URL: <https://asiabrewersnetwork.com/technical/квейк-yeast-the-voss-strain-selection-process-performance>

36 Paszkot J., Gasiński A., Kawa-Rygielska J. Evaluation of volatile compound profiles and sensory properties of dark and pale beers fermented by different strains of brewing yeast // Scientific Reports. 2023. V. 13. №. 1. P. 6725. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-33246-4>

Сведения об авторах

Янис Р. Арустамов аспирант, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, aru.yanis@yandex.ru

Инна В. Новикова д.т.н., профессор, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, noviv@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2360-5892>

Александр С. Муравьев к.т.н., инженер, отдел стандартизации и метрологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, hnrtrun@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5989-0752>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Yanis R. Arustamov graduate student, technologies of fermentation and sugar industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, aru.yanis@yandex.ru

Inna V. Novikova Dr. Sci. (Engin.), professor, technologies of fermentation and sugar industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, noviv@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2360-5892>

Aleksandr S. Muravev Cand. Sci. (Engin.), engineer, metrology and standardization department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, hnrtrun@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5989-0752>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/01/2024	После редакции 14/02/2024	Принята в печать 01/03/2024
Received 18/01/2024	Accepted in revised 14/02/2024	Accepted 01/03/2024

Получение сброженной основы для кваса с использованием природного источника сахара

Лариса В. Пермякова	¹	delf-5@yandex.ru	 0000-0003-1996-8903
Ирина Ю. Сергеева	¹	sergeeva.76@list.ru	 0000-0002-1686-0131
Сергей С. Лашицкий	¹	lashitskiy99@mail.ru	 0000-0001-9468-9088
Наталья А. Матвиенко	²	natali25_81@mail.ru	 0000-0003-4777-003X
Александр С. Киселев	²		
Иван С. Тимофеев	²		

¹ Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия

² Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Современный рынок напитков, включая слабоалкогольные, характеризуется появлением новых видов продукции с функциональной направленностью. Придание специфических свойств и повышение биологической ценности достигается применением нехарактерных для данного продукта сырьевых ресурсов. Сахар один из основных видов сырья в производстве кваса, обеспечивает необходимое содержание спирта в напитке, но в то же время значительно повышает его калорийность. Продукты переработки сахарной свеклы (сок и жом) содержат ценный комплекс веществ исходного сырья. Цель работы – изучение возможности использования сока сахарной свеклы (ССС) и экстракта свекловичного жома (ЭЖС) при изготовлении кваса. Установлено, что сусло на основе ЭЖС медленнее сбраживается в сравнении с суслom из СССР, имеет плохо устранимые недостатки во вкусе и аромате. Сравнительный анализ процесса ферментации суслa на основе СССР разными видами дрожжей показал преимущество пивных дрожжей низового брожения, в частности расы S-23, перед прессованными хлебопекарными. В первом случае прирост биомассы составил 131 % по отношению к образцу, сброженному хлебопекарными дрожжами, убыль сухих веществ была в 1,2 раза выше. Ферментативная активность дрожжей на сусле из СССР и с добавлением концентрата квасного суслa ККС (5, 10, 30 % к объему) на 9-36 % выше, чем в контроле (сусло из ККС и сахарного сиропа). По органолептическим характеристикам сброженная основа из СССР и ККС в количестве 10 % и выше была приближена к традиционному квасу. Таким образом, замена сахарного сиропа сброженной основой из СССР положительно влияет на жизнедеятельность дрожжей за счет полноценности питательной среды, сокращает длительность ферментации, позволяет получить готовый напиток с пониженной энергетической ценностью, но обогащенного биологически активными соединениями нативного сырья.

Ключевые слова: квас, сок сахарной свеклы, экстракт свекловичного жома, дрожжи хлебопекарные, дрожжи пивные, брожение.

Obtaining fermented kvass base using a natural sugar source

Larisa V. Permyakova	¹	delf-5@yandex.ru	 0000-0003-1996-8903
Irina Yu. Sergeeva	¹	sergeeva.76@list.ru	 0000-0002-1686-0131
Sergey S. Lashitsky	¹	lashitskiy99@mail.ru	 0000-0001-9468-9088
Natalia A. Matvienko	²	natali25_81@mail.ru	 0000-0003-4777-003X
Alexander S. Kiselev	²		
Ivan S. Timoffev	²		

¹ Kemerovo State University, Krasnaya St., 6 Kemerovo, 650000, Russia

² Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The modern beverage market, including low-alcohol beverages, is characterised by the emergence of new types of products with a functional orientation. Specific properties and increased biological value are achieved by using raw materials that are not typical for the product. Sugar is one of the main raw materials in the production of kvass, it provides the necessary alcohol content in the drink, but at the same time significantly increases its caloric content. Products of sugar beet processing (juice and cake) contain a valuable complex of substances of the original raw material. The aim of the work is to study the possibility of using sugar beet juice (SJS) and beet pulp extract (BPE) in the manufacture of kvass. It was found that the wort based on EZhS is slower fermented in comparison with the wort from SSS, has poorly removable defects in flavour and aroma. Comparative analysis of the process of fermentation of wort on the basis of SCC by different types of yeast showed the advantage of beer yeast of low fermentation, in particular race S-23, over pressed bakery yeast. In the first case the biomass growth was 131 % in relation to the sample fermented with baker's yeast, the loss of dry matter was 1.2 times higher. The enzymatic activity of yeasts on wort from SCC and with the addition of leavening wort concentrate KKS (5, 10, 30 % by volume) was 9-36 % higher than in the control (wort from KKS and sugar syrup). In terms of organoleptic characteristics, the fermented base from SSS and KKS in the amount of 10 % and higher was close to traditional kvass. Thus, the replacement of sugar syrup with fermented base from SSS has a positive effect on the vitality of yeast due to the fullness of the nutrient medium, reduces the duration of fermentation, allows you to get a finished drink with reduced energy value, but enriched with biologically active compounds of native raw materials.

Keywords: kvass, sugar beet juice, beet pulp extract, baker's yeast, brewer's yeast, fermentation.

Для цитирования

Пермякова Л.В., Сергеева И.Ю., Лашицкий С.С., Матвиенко Н.А., Киселев А.С., Тимофеев И.С. Получение сброженной основы для кваса с использованием природного источника сахара // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 181–188. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-181-188

For citation

Permyakova L.V., Sergeeva I.Yu., Lashitsky S.S., Matvienko N.A., Kiselev A.S., Timofeev I.S. Obtaining fermented kvass base using a natural sugar source. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 181–188. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-181-188

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Актуальным трендом развития пищевой промышленности является разработка новых видов продукции коррекционного назначения с учетом медико-биологических рекомендаций для различных групп населения [1–5]. Одновременно продолжается выпуск традиционных продуктов, включая напитки, но с приданием им дополнительных характеристик, в первую очередь повышения биологической ценности, функциональной направленности. Данная цель достигается различными приемами, в частности использованием неприсущего для данного продукта сырья. Этот подход важен и в производстве кваса [6–12].

Наряду с типичными основными видами зернового сырья и продуктами его переработки (солодом ржаным / ячменным, мукой ржаной / кукурузной, сухим квасом, концентратом квасного сусла) [13] в производстве кваса распространение получают нехарактерные сырьевые материалы. В качестве таковых выступают разнообразные плоды и ягоды (облепиха, жимолость, рябина черноплодная, барбарис и др.) [7, 10–12], овощи (свекла красная) [6], зерновые, бобовые культуры, а также отходы их переработки (солод соевый, овсяной тритикалевый, гречишный, гречишная лузга) и т. п. [8, 9, 14, 15]. Кроме того, проводятся исследования по расширению применяемых для ферментации среды видов и штаммов микроорганизмов (дрожжей, молочнокислых бактерий) [13, 16–18]. Вводимые в рецептуру кваса ранее неиспользуемые компоненты придают напитку новые оттенки в органолептике, повышают биологическую и пищевую ценность, обеспечивают функциональность.

Основной составляющей в рецептуре напитка, гарантирующей заданную концентрацию сухих веществ, а также спирта в готовом квасе, является сахар. Рассматривая сахар как высокоочищенный от сопутствующих веществ продукт, представляющий собой практически чистую сахарозу, нужно учитывать неоднозначное влияние его на здоровье человека, в первую очередь повышенную калорийность. С этой точки зрения представляет интерес исследование по замене сахара сладкими веществами природного происхождения или сахарными спиртами. В работах [17, 19] показана возможность частичной замены сахарного сиропа на фруктозу, перспективно использование водных экстрактов листьев стевии [20]. Готовый напиток, помимо жаждоутоляющего действия, способствует укреплению физиологических функций организма, но без лишних калорий.

Оценивая квас как напиток, содержащий только нативные компоненты исходного сырья, альтернативой сахарного сиропа может служить сок сахарной свеклы (ССС). В СССР, получаемом в результате измельчения сырья, присутствуют углеводы различного состава и молекулярной массы (сахароза, глюкоза, фруктоза, раффиноза, декстран, леван); азотистые и минеральные вещества, витамины. Из группы азотсодержащих веществ наибольшую ценность представляют аминокислоты (заменимые и незаменимые) и производное глицина – бетаин. В минеральной составляющей СССР доминируют калий и натрий с минорным содержанием магния, кальция, селена, цинка, кремния, молибдена, бора. Из витаминов преобладают в количественном отношении В₃, В₈, Н.

Одним из полупродуктов переработки сахарной свеклы является свекловичный жом. За счет наличия в составе безазотистых экстрактивных веществ, азотистых соединений, минеральных элементов, жира и других компонентов жом представляет ценный кормовой продукт. Экстракт, полученный из высушенного жома, так же, как и сок свеклы, может быть источником необходимых для размножения и роста дрожжей веществ. Таким образом, разнообразие состава сока и жома сахарной свеклы делает их многообещающим сырьем в производстве кваса повышенной биологической ценности.

Цель работы – исследование влияния сока сахарной свеклы и экстракта свекловичного жома на качественные характеристики сброженной основы для кваса.

Материалы и методы

Объектами изучения служили сок сахарной свеклы прямого отжима, полученный из сахарной свеклы урожая 2023 года (ОАО «Черемновский сахарный завод», с. Черемное, Алтайский край), экстракт свекловичного жома (ЭСЖ), дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*: хлебопекарные пресованные (ООО «САФ-НЕВА», г. Узловая), производственные пивные низового брожения рас S-23, W-34/70 (ООО «ТК «Золотая Сова», г. Кемерово), сброженная основа.

Сок прямого отжима представлял собой непрозрачную с опалесценцией жидкость с посторонними включениями, свойственным сырью ароматом, без посторонних запахов, сладким вкусом, без посторонних привкусов. Показатели сока (по данным заводской лаборатории): массовая доля сухих веществ 20%, в том числе сахаров 18,3%, коллоидных веществ 1,6%, pH 6,4. Опытные образцы сусла готовили либо непосредственно из СССР, либо с добавлением различного количества концентрата квасного сусла (ККС) и воды для обеспечения начальной

экстрактивности среды 6%. В качестве контроля использовали аналогичное по содержанию сухих веществ сусло, приготовленное из ККС и сахарного сиропа.

Для приготовления ЭСЖ применяли свекловичный жом после высушивания при температуре 100 и 170 °С (образцы сырого жома предоставлены производителем ООО «Черемновский сахарный завод»). В качестве экстрагента выступала водопроводная вода, соотношение твердой и жидкой фазы (гидро модуль) – 1:10, 1:12,5 и 1:15. Выбранный диапазон гидро модуля объясняется тем, что при меньшем соотношении жома и воды (1:5) за счет значительного содержания в сахарной свекле пектиновых веществ происходит чрезмерное поглощение влаги твердой фазой, а при большем – снижается выход экстрактивных веществ. Полученную смесь кипятили в течение 1–2 ч. Затем отделяли самотечную часть экстракта, жом прессовали и прессовую фракцию присоединяли к самотечной. Сусло из ЭЖС получали разбавлением водой до содержания сухих веществ 6%.

С целью создания оптимальных условий для развития дрожжей сусло всех образцов подкисляли до pH 5,0–5,2 молочной кислотой. Перед сбраживанием сусло стерилизовали автоклавированием. Ферментацию среды осуществляли в ПЭТ-бутылках с гидрозатвором в термостате при температуре 28 °С. Доза введения дрожжей хлебопекарных прессованных 0,015 г/100 см³ сусла, пивных дрожжей – 8 × 10⁶ клеток/см³. Величина засева основана на данных литературы [13].

В исходном сусле и в процессе брожения оценивали сухие вещества ареометрическим методом, массу выделившегося диоксида углерода – весовым способом по разнице массы среды до и после ферментации, титруемую кислотность – титриметрически, физиологические показатели дрожжей (концентрацию клеток общую, почкующихся и нежизнеспособных) – прямым микроскопированием. Для определения способности дрожжей сбраживать сахара сусла (бродильной активности) использовали модифицированный метод Варбурга в модификации

Давыденко С.Г. (2012) – по количеству выделившегося диоксида углерода за 60 мин.

Результаты и обсуждение

На начальном этапе работы были выявлены рациональные параметры получения ЭСЖ с учетом выхода сухих веществ. Из полученных данных видно (таблица 1), что максимально достигнутый в условиях эксперимента выход сухих веществ наблюдается при гидро модуле 1:10 и 1:12,5 и длительности кипячения 1,5–2 ч. Причем в экстрактах из жома, высушенного при 100 °С, содержание сухих веществ при всех прочих равных условиях в среднем на 3% больше, чем из жома с температурой сушки при 170 °С. Кроме того, в последнем случае в экстрактах более выражено ощущался запах карамелизованного сахара и горечь во вкусе, что объясняется интенсивным протеканием реакций меланоидинообразования и карамелизации с потерей свободных сахаров и аминокислот при высоких температурах сушки.

Для дальнейших исследований был взят экстракт, извлеченный из жома первого образца (температура сушки 100 °С) путем кипячения в течение 2 ч (гидро модуль 1:12,5). Внешний вид ЭСЖ – мутная жидкость с сильной опалесценцией, цвет – серовато-белый, вкус и запах – с оттенком пережженного сахара.

В производстве кваса с учетом симбиотических взаимоотношений традиционно используется комбинированная закваска, включающая квасные дрожжи *Saccharomyces minor* расы М и молочнокислые бактерии *Betabacterium β* рас 11 и 13 [13]. Кроме этого, для сбраживания сусла возможно использование только дрожжей (хлебопекарных сухих / прессованных, пивных жидких / сухих / верхового / низового брожения, винных, гибридных (полученных скрещиванием разных видов винных или винных и пивных дрожжей). Совместно с ними предлагается применять отдельные виды молочнокислых бактерий родов *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Lactobacillus*, бифидобактерии семейства *Actinomycetaceae* [6, 13, 16–19].

Таблица 1.

Показатели экстракта свекловичного жома

Table 1.

Indicators of beet pulp extract

Образец (температура сушки жома) Sample (drying temperature pulp)	Гидро модуль Hydraulic module	Сухие вещества, % Dry matter, %				Объем самотека, см ³ Gravity juice volume, cm ³	Общий объем экстракта, см ³ Total extract volume, cm ³
		длительность кипячения boiling time					
		1 ч 1 h	1,5 ч 1,5 h	2 ч 2 h			
1 (100 °C)	1:10	8,2	9,1	-		85	265
	1:12,5	7,0	7,4	8,3		140	290
	1:15	4,5	4,6	-		405	570
2 (170 °C)	1:10	7,6	8,3	-		125	295
	1:12,5	6,9	7,4	7,9		150	310
	1:15	4,7	4,9	-		385	555

Условия ферментации, включая состав питательной среды, оказывают существенное влияние на жизнедеятельность микроорганизмов и, тем самым, на ход технологического процесса и, в конечном итоге, на качество готового напитка. Был исследован процесс сбраживания суслу из ССС и ЭСЖ различными видами дрожжей: хлебопекарными прессованными и пивными низового брожения (расы S-23, W-34/70). Результаты представлены в таблице 2 и на рисунке 1.

Установлено, что все используемые дрожжи лучше сбраживают сусло на основе ССС, чем ЭСЖ. Так, например, к окончанию процесса (через 15 ч после начала) концентрация сухих веществ в образце с ССС в среднем была на 16% меньше в сравнении с величиной этого показателя на тот же момент времени в образце с ЭСЖ. Подтверждением служит также количество выделившего диоксида углерода за период ферментации среды. В первом случае убыль CO_2 была на 10% больше, чем во втором. Вероятной причиной относительно низкой скорости сбраживания сухих веществ суслу на основе экстракта является наличие в нем веществ (меланоидинов, карамелей), образовавшихся в процессе сушки жома и угнетающе действующих на дрожжи. Имеется разница и в органолептике полученных сброженных основ. В основе с ЭЖС явственно чувствовался оттенок жженого сахара.

Таблица 2.

Показатели сброженной разными дрожжами среды на основе ССС и ЭЖС

Table 2.

Indicators of a fermented medium based on SBJ and BPE with different yeasts

Показатель Indicators	Среда Medium	Дрожжи Yeast		
		ХП BY	S-23	W-34/ 70
Сухие вещества, % Dry matter, %	ССС SBJ	3,5	2,9	2,7
	ЭЖС BPE	3,9	3,3	3,6
Кислотность, к. ед. Acidity, a. u.	ССС SBJ	2,3	1,9	2,1
	ЭЖС BPE	2,0	1,8	1,9
CO_2 , г CO_2 , g	ССС SBJ	4,3	6,2	5,7
	ЭЖС BPE	4,0	5,6	5,0

Сравнивая эффективность ферментации суслу разными дрожжами, стоит отметить преимущество пивных дрожжей обеих рас перед хлебопекарными. Это проявляется в убыли экстрактивных веществ суслу (на 20% ниже, чем в варианте с хлебопекарными дрожжами),

но не в изменении кислотности. Кислотонакопление во всех случаях находится практически на одном уровне. Из используемых пивных дрожжей раса S-23 по убыли CO_2 проявила себя лучше, чем W-34/70. Отмеченная в разных образцах суслу тенденция в сбраживании экстрактивных веществ наблюдается и при размножении дрожжей. Сусло на основе ССС способствовало более быстрому началу активного размножения, большему (на 33%) приросту биомассы клеток, снижению количества нежизнеспособных особей. Причины наблюдаемых явлений связаны, возможно, с пониженным содержанием в ЭЖС усвояемых дрожжами питательных веществ (сахаров и азотистых соединений), израсходованных в реакциях меланоидинообразования и карамелизации, наличие вредных соединений, образующихся при сушке жома.

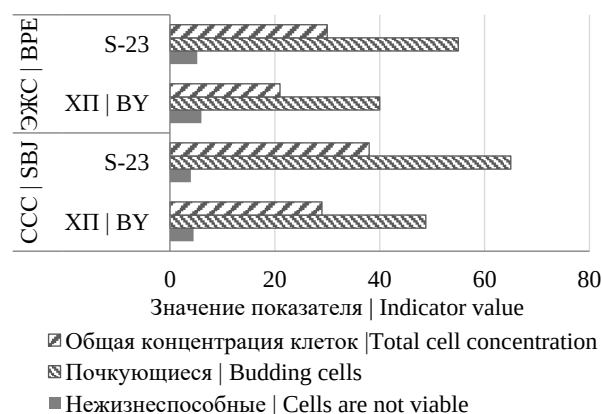


Рисунок 1. Влияние среды сбраживания на физиологические показатели дрожжей (общая концентрация клеток, $\times 10^6/\text{cm}^3$, клетки почкующиеся и нежизнеспособные, % от общего)

Figure 1. The influence of the fermentation environment on the physiological parameters of yeast (total cell concentration, $\times 10^6/\text{cm}^3$, budding cells and non-viable cells, % of total)

С учетом полученных данных дальнейшие исследования проводили с применением ССС и пивных дрожжей расы S-23. На рисунке 2 представлены результаты определения бродильной активности дрожжей на сусле, приготовленном полностью на ККС и сахарном сиропе (контроль), а также на ССС и ССС с добавлением разного количества ККС (опыт). Выявлено возрастание ферментативной активности дрожжей во всех опытных образцах на 109–136% в сравнении с контрольным вариантом. Это объясняется более полноценным составом сбраживаемой среды за счет внесения с ССС не только легкоусвояемых углеводов, но и других веществ, обеспечивающих нормальное развитие культуры.

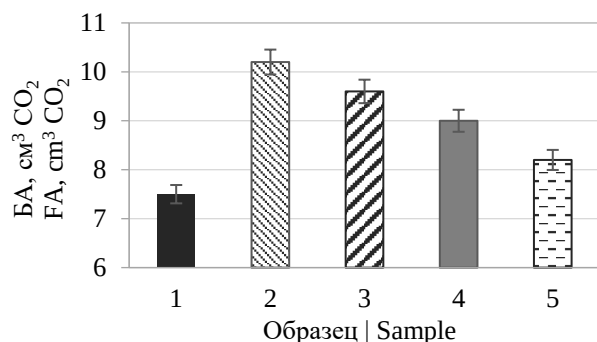


Рисунок 2. Бродительная активность дрожжей на средах: 1 – ККС, 2 – ССС, 3 – ССС + 5% ККС, 4 – ССС + 10% ККС, 5 – ССС + 30% ККС

Figure 2. Fermentation activity of yeast on various media: 1 – KWC, 2 – SBJ, 3 – SBJ + 5% KWC, 4 – SBJ + 10% KWC, 5 – SBJ + 30% KWC

Органолептическая оценка сброженных основ с использованием ССС и с добавлением ККС приведена в таблице 3. Общим изъяном основ на базе ССС и ССС с 5% ККС является присутствие в запахе или вкусе оттенков основного сырья – сахарной свеклы. Введение в сусло большего количества ККС позволяет нивелировать эти отклонения и придать сброженной основе различной интенсивности хлебный привкус, аромат и окраску. Недостаток сладости в образцах обусловлен перебродом суслу, что в дальнейшем корректируется длительностью процесса ферментации с учетом снижения массовой доли сухих веществ на 1% от первоначальной величины.

Таблица 3.

Органолептическая характеристика сброженной основы

Table 3.

Organoleptic characteristics of the fermented base

Показатель Indicators	Образец Sample			
	CCC KWC	CCC + 5% KKC SBJ + 5% KWC	CCC + 10% KKC SBJ + 10% KWC	CCC + 30% KKC SBJ + 30% KWC
Цвет Colour	бело-серый white-gray	светло-коричневый light brown	коричневый со светлым оттенком light brown	коричневый, характерный для хлебного кваса brown, characteristic of bread kvass
Вкус Taste	кисло-сладкий с преобладанием сладкого, с привкусом свеклы sweet and sour with a predominance of sweet, with a beet flavor	кисло-сладкий, отдаленная схожесть с окрошечным квасом, без привкуса свеклы sweet and sour, vaguely similar to okroshka kvass, without the taste of sugar beets	более выражен кислый, с недостатком сладкого привкуса more pronounced sour, with a lack of sweet aftertaste	вкус кислый, резкий, не хватает сладости taste sour, sharp, lacks sweetness
Запах Flavor	свекольный the smell of sugar beets	кисловатый, без ощущения свекольного запаха sourish, without the smell of sugar beets	хлебного кваса the smell of bread kvass	выраженный запах хлебного кваса strong smell of bread kvass

Брожение образцов суслу, изготовленного из ССС с добавлением 10% ККС (опыт) и только из ККС и сахарного сиропа (контроль), выявило следующие закономерности (таблица 4). В сброженной через 15 ч основе опытного образца массовая доля сухих веществ была в 1,2 раза ниже в сравнении с контрольным вариантом, а убыль диоксида углерода, оцениваемая по снижению массы пробы, в 1,4 раза больше. Разница в кислотности составляла 0,32 к. ед. Анализ физиологических показателей дрожжей после ферментации основы на базе ССС свидетельствует о более существенном (на 28%) приросте биомассы и активно размножающихся клеток (на 61%) по отношению к контролю (образец с ККС). Для обеспечения рекомендуемой величины снижения (1%) экстрактивных веществ суслу на основе ССС в процессе ферментации и предотвращения чрезмерного накопления спирта необходимо в дальнейшем сократить длительность брожения до 12–13 ч.

Таблица 4.

Показатели сброженной основы

Table 4.

Indicators of the fermented base

Показатель Indicators	Образец Sample	
	ККС KWC	ССС + 10% ККС SBJ + 10% KWC
Сухие вещества, % Dry matter, %	5,0	4,1
Кислотность, к. ед. Acidity, a. u.	1,98	2,3
CO ₂ , г CO ₂ , g	4,31	6,22
Количество клеток дрожжей Number of yeast cells общее, x10 ⁶ /см ³ total, x10 ⁶ /cm ³	31	40
почкующихся, % budding, %	34	55
нежизнеспособных, % non-viable, %	4	5

Полученные в приведенном исследовании результаты согласуются с данными других авторов, изучавших влияние трансформации питательной среды путем использования сырья, содержащего биологически ценные вещества, на развитие микробной массы (дрожжевой, бактериальной). Так, например, введение в сусло из зернопродуктов порошка из ягод *Berberis vulgaris* с наличием в составе БАВ (витаминов B1, B2, B5, B6, комплекса минеральных элементов с преобладанием калия, кальция, магния и натрия), привело к стимулированию жизненной активности дрожжей, что сократило длительность ферментации на 20–30% [10]. Замена сахарного сиропа в квасном сусле на фруктозоглюкозный сироп из топинамбура позволила создать благоприятные условия для развития биомассы смешанной закваски (на примере пивных дрожжей низового брожения расы 8aM и молочнокислых бактерий *Bifidobacterium bifidum* и *Lactobacillus acidophilus*), а также обогатить напиток БАВ нетрадиционного сырья с одновременным снижением калорийности продукта [17]. Полная замена сахарозы на фруктозу или смесь фруктозы и ксилита также обеспечивает быстрое сбраживание сусла с получением готового кваса с пониженной энергетической ценностью, но по физико-химическим и органолептическим показателям, отвечающим требованиям стандарта [19]. Обеспечить низкую калорийность кваса можно не только

корректируя состав сусла до начала брожения, но и на этапе купаживания. Примером является использование стевии, добавляемой в купаж напитка [20].

Заключение

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы. Показана потенциальная возможность замены сахарозы в виде сахарного сиропа на сок сахарной свеклы. Установлено, что сусло на основе ССС сбраживается быстрее и более глубоко в сравнении с ферментируемой средой на базе экстракта свекловичного жома или концентрата квасного сусла.

Получение сброженной основы из ССС целесообразно вести дрожжами пивными низового брожения, в частности расы S-23, чем хлебопекарными. При типичной температуре ферментации культура пивных дрожжей обеспечивает нормативное снижение массовой доли сухих веществ на 2–3 ч быстрее. Для корректировки вкусо-ароматических и цветовых характеристик сброженной основы из ССС рекомендуется добавлять ККС, начиная с 10% к объему среды.

Таким образом, существующая альтернатива сахару в виде сока сахарной свеклы при изготовлении кваса позволит снизить энергетическую ценность напитка, обогатить продукт ценными компонентами исходного сырья без ухудшения физико-химических и органолептических показателей.

Литература

- 1 Koonyosying P., Tantiworawit A., Hantrakool S., Utama-Ang N. et al. Consumption of a green tea extract-curcumin drink decreases blood urea nitrogen and redox iron in β -thalassemia patients // Food & function. 2020. V. 11. № 1. P. 932–943. doi:10.1039/c9fo02424g
- 2 Nissen L., di Carlo E., Gianotti A. Prebiotic potential of hemp blended drinks fermented by probiotics // Food Research International. 2020. V. 131. P. 109029. doi:10.1016/j.jff.2023.105866
- 3 Shvachko N.A., Loskutov I.G., Semilet T.V., Popov V.S. et al. Bioactive components in oat and barley grain as a promising breeding trend for functional food production // Molecules. 2021. V. 26. № 8. P. 2260. doi:10.3390/molecules26082260
- 4 Xu L., Li X., Lin L., Mao X. et al. Preparation process, composition and activity evaluation of Ginseng-Sea buckthorn functional drink // Journal of Functional Foods. 2023. V. 110. P. 105866. doi: 10.1016/j.jff.2023.105866
- 5 Кобелев К.В., Оганесянц Л.А., Бойков А.В. Инновационные напитки здорового питания с использованием концентрированных основ // Вопросы питания. 2014. Т. 83. № 3. С. 192–193.
- 6 Обрезкова М.В., Каменская Е.П., Вагнер В.А. Разработка рецептуры кваса брожения с использованием концентрата свекольного сока // Вестник КрасГАУ. 2019. № 9. С. 158–165.
- 7 Колесниченко М.Н., Каменская Е.П. Перспективы использования плодов жимолости в производстве хлебного кваса // Ползуновский вестник. 2020. № 1. С. 13–20.
- 8 Коротких Е.А., Новикова И.В., Агафонов Г.В., Коротких Н.В., Криваносов И.Н. Интенсификация биотехнологии кваса с применением нетрадиционных видов сырья // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 3. С. 123–130. doi: 10.20914/2310-1202-2020-3-123-130
- 9 Танашкина Т.В., Перегудова А.А., Семенюта А.А., Боярова М.Д. Безглютеновые гречишные квасы с добавлением пряно-ароматического сырья // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50. № 1. С. 70–78. doi: 10.21603/2074-9414-2020-1-70-78
- 10 Гагиева Л.Ч., Дзицкоева З.Л. Использование ягод дикорастущего барбариса (*Berberis vulgaris*) в биотехнологии кваса // Известия Горского ГАУ. 2021. Т. 58. № 3. С. 133–137.
- 11 Гарькина П.К., Соболев Е.Г. Обоснование применения сока брусники в технологии кваса // Инновационная техника и технология. 2022. Т. 9. № 4. С. 13–16.
- 12 Распутина Д.С. Квасы брожения, обогащенные растительными добавками // Научный альманах Центрального Черноземья. 2022. № 1–9. С. 37–45.
- 13 Исаева В.С., Иванова Т.В., Степанова Н.М. и др. Современные аспекты производства кваса. Москва, 2009. 304 с.

- 14 Киселева Т.Ф., Гребенникова Ю.В., Миллер Ю.Ю., Орлов А.А. Использование соевого и пшеничного солодов в производстве напитков брожения // Пищевая промышленность. 2019. № 5. С. 10–14. doi: 10.24411/0235–2486–2019–10063
- 15 Каменская Е.П., Обрезкова М.В., Вагнер В.А. Перспективы использования полисолодовых экстрактов в технологии производства квасов брожения // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2019. № 3 (56). С. 19–25.
- 16 Гернет М.В., Борисенко О.А., Грибкова И.Б. Исследование особенностей жизнедеятельности молочнокислых бактерий и дрожжей в ферментированных напитках // Актуальные проблемы индустрии напитков. 2019. № 3. С. 49–53. doi:10.21323/978–5–6043128–4–1–2019–3–49–53
- 17 Каменская Е.П., Вагнер В.А., Камаева С.И. Исследование совместного развития пробиотиков и пивных дрожжей в технологии хлебного кваса с фруктозо-глюкозным сиропом // Ползуновский вестник. 2020. № 1. С. 78–84. doi: 10.25712/ASTU.2072–8921.2020.01.016
- 18 Liu J., Huang T.Y., Liu G., Ye Y. et al. Microbial Interaction between *Lactiplantibacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae*: transcriptome level mechanism of cell-cell antagonism // Microbiology spectrum. 2022. V. 10. № 5. P. e0143322. doi.org/10.1128/spectrum.01433–22
- 19 Иванченко О.Б., Данина М.М. Использование сахарозаменителей в технологии хлебного кваса // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2019. № 2. С. 11–18. doi: 10.17586/2310–1164–2019–12–2–11–18
- 20 Позднякова В.Ф., Сенченко М.А. Производство кваса с использованием заменителей сахара из растительного сырья, выращенного в условиях Ярославской области // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2019. Т. 7. № 4. С. 55–63. doi: 10.14529/food190406

References

- 1 Koonyosying P., Tantiworawit A., Hantrakool S., Utama-Ang N. et al. Consumption of a green tea extract-curcumin drink decreases blood urea nitrogen and redox iron in β -thalassemia patients. Food & function. 2020. vol. 11. no. 1. pp. 932–943. doi:10.1039/c9fo02424g
- 2 Nissen L., di Carlo E., Gianotti A. Prebiotic potential of hemp blended drinks fermented by probiotics. Food Research International. 2020. vol. 131. pp. 109029. doi:10.1016/j.jff.2023.105866
- 3 Shvachko N.A., Loskutov I.G., Semilet T.V., Popov V.S. et al. Bioactive components in oat and barley grain as a promising breeding trend for functional food production. Molecules. 2021. vol. 26. no. 8. pp. 2260. doi:10.3390/molecules26082260
- 4 Xu L., Li X., Lin L., Mao X. et al. Preparation process, composition and activity evaluation of Ginseng-Sea buckthorn functional drink. Journal of Functional Foods. 2023. vol. 110. pp. 105866. doi: 10.1016/j.jff.2023.105866
- 5 Kobelev K.V., Oganesyants L.A., Boikov A.V. Innovative healthy food drinks using concentrated bases. Food Issues. 2014. vol. 83. no. 3. pp. 192–193. (in Russian).
- 6 Obrezkova M.V., Kamenskaya E.P., Vagner V.A. The development of the recipe of kvass fermentation using beet juice concentrate. Bulletin of KrasSAU. 2019. no. 9. pp. 158–165. (in Russian).
- 7 Kolesnichenko M.N., Kamenskaya E.P. Prospects for the use of honeysuckle fruits in the production of bread kvass. Polzunovskiy vestnik. 2020. no. 1. pp. 13–20. (in Russian).
- 8 Korotkikh E.A., Novikova I.V., Agafonov G.V., Korotkikh N.V. et al. Intensification of kvas biotechnology using non-traditional raw materials. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2020. vol. 82. no. 3. pp. 123–130. doi:10.20914/2310–1202–2020–3–123–130 (in Russian).
- 9 Tanashkina T.V., Peregoedova A.A., Semenyuta A.A., Boyarova M.D. Gluten-free Buckwheat Kvass with Aromatic Raw Materials. Food Processing: Techniques and Technology. 2020. vol. 50. no. 1. pp. 70–78. doi: 10.21603/2074–9414–2020–1–70–78 (in Russian).
- 10 Gagieva L. Ch., Dzitsoeva Z.L. Possibilities of using barberry (*Berberis vulgaris*) berries in kvass biotechnology. Proceedings of Gorsky SAU. 2021. vol. 58. no. 3. pp. 133–137. (in Russian).
- 11 Garkina P.K., Sobolev E.G. Rationale for the use of lingonberry juice in kvass technology. Innovative equipment and technology. 2022. vol. 9. no. 4. pp. 13–16. (in Russian).
- 12 Rasputina D.S. Fermented kvass enriched with vegetable additives. Scientific almanac of the Central Black Earth region. 2022. no. 1–9. pp. 37–45. (in Russian).
- 13 Isaeva V.S., Ivanova T.V., Stepanova N.M. et al. Modern aspects of kvass production. Moscow, 2009. 304 p. (in Russian).
- 14 Kiseleva T.F., Grebennikova Yu. V., Miller Ju. Yu., Orlov A.A. The use of soy and wheat malts in the production of fermented beverages. Food industry. 2019. no. 5. pp. 10–14. doi: 10.24411/0235–2486–2019–10063 (in Russian).
- 15 Kamenskaya E.P., Obrezkova M.V., Vagner V.A. Prospective of polymalt extract use in production of kvass fermentation. Technology and merchandising of the innovative foodstuff. 2019. no. 3 (56). pp. 19–25. (in Russian).
- 16 Gernet M.V., Borisenko O.A., Gribkova I.N. Special features research of lactic acid bacteria and yeast vital activity in fermented drinks. Current issues in the beverage industry. 2019. no. 3. pp. 49–53. doi:10.21323/978–5–6043128–4–1–2019–3–49–53 (in Russian).
- 17 Kamenskaya E.P., Wagner V.A., Kamaeva S.I. Use of natural source of sugar in kvass technology. Polzunovskiy vestnik. 2020. no. 1. pp. 78–84. doi: 10.25712/ASTU.2072–8921.2020.01.016 (in Russian).
- 18 Liu J., Huang T.Y., Liu G., Ye Y. et al. Microbial Interaction between *Lactiplantibacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae*: transcriptome level mechanism of cell-cell antagonism. Microbiology spectrum. 2022. vol. 10. no. 5. pp. e0143322. doi.org/10.1128/spectrum.01433–22
- 19 Ivanchenko O.B., Danina M.M. The use of sweeteners in the technology of bread kvass. Processes and food production equipment. 2019. no. 2. pp. 11–18. doi: 10.17586/2310–1164–2019–12–2–11–18 (in Russian).
- 20 Pozdnyakova V.F., Senchenko M.A. Production of Kvass Using Substances of Sugar from Vegetable Raw Materies Grown in the Conditions of Yaroslav Region. Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology. 2019. vol. 7. no. 4. pp. 55–63. doi: 10.14529/food190406 (in Russian).

Сведения об авторах

Лариса В. Пермякова д.т.н., профессор, кафедра технологии продуктов питания из растительного сырья, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, delf-5@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1996-8903>

Ирина Ю. Сергеева д.т.н., зав. кафедрой, кафедра технологии продуктов питания из растительного сырья, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, sergeeva.76@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1686-0131>

Сергей С. Лашицкий аспирант, кафедра технологии продуктов питания из растительного сырья, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, lashitskiy99@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9468-9088>

Наталья А. Матвиенко к.т.н., доцент, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, natali25_81@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4777-003X>

Александр С. Киселев студент, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Иван С. Тимофеев студент, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Larisa V. Permyakova Dr. Sci. (Engin.), professor, plant-based food technology department, Kemerovo State University, Krasnaya St., 6 Kemerovo, 650000, Russia, delf-5@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1996-8903>

Irina Yu. Sergeeva Dr. Sci. (Engin.), head of the department, plant-based food technology department, Kemerovo State University, Krasnaya St., 6 Kemerovo, 650000, Russia, sergeeva.76@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1686-0131>

Sergey S. Lashitsky graduate student, plant-based food technology department, Kemerovo State University, Krasnaya St., 6 Kemerovo, 650000, Russia, lashitskiy99@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9468-9088>

Natalia A. Matvienko Cand. Sci. (Engin.), associate professor, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, natali25_81@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4777-003X>

Alexander S. Kiselev student, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Ivan S. Timoffev student, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 24/01/2024	После редакции 12/02/2024	Принята в печать 28/02/2024
Received 24/01/2024	Accepted in revised 12/02/2024	Accepted 28/02/2024

Использование сухих микроорганизмов в производстве кваса

Юлия Ю. Миллер	¹	miller.yuliya@mail.ru	 0000-0001-5490-4804
Татьяна Ф. Киселева	²	kisseleva.tf@mail.ru	 0000-0003-1886-3544
Валентина А. Помозова	³	pomozo.va@mail.ru	 0000-0002-6492-7003

1 Сибирский университет потребительской кооперации, 26, пр. т. Карла Маркса, Новосибирск, 630087, Россия

2 Кемеровский государственный университет, 6, ул. Красная, Кемерово, 650000, Россия

3 Электронный Уральский государственный экономический университет, 62/45, ул. 8 Марта / Народной Воли, г. Екатеринбург, 620144, Россия

Аннотация. Одним из способов совершенствования производства кваса является использование в технологии сухих микроорганизмов. В работе показана возможность применения на стадии брожения таких сухих микроорганизмов как «Saf-instant», «Saf-levur», «Fermipan brown», «Nevada». Дрожжи использовали для сбраживания квасного сусла, полученного настольным способом на основе ячменного, ржаного неферментированного и ржаного ферментированного солодов. Дрожжевые культуры предварительно перед использованием обводняли в течение 1 часа, затем вносили в сусло в количестве 20 млн. кл./см³. В ходе эксперимента контролировали процесс брожения по снижению сухих веществ в сбраживаемом квасе, а также физиологическое состояние дрожжей в течение всего периода брожения. Продолжительность брожения до требуемого содержания сухих веществ в сброженном квасе (5,6–5,8%) составила 15 часов для микроорганизмов «Nevada», 18 часов для «Saf-instant» и «Saf-levur», 20 часов для «Fermipan brown». Отмечено, что все дрожжи достаточно быстро адаптировались к условиям брожения, в среднем за 3–5 часов, наблюдалось их активное размножение. Дрожжевая биомасса увеличивалась в среднем в 3,5 раза, отмечено высокое содержание жизнеспособных клеток и клеток с гликогеном (до 74–81%). Наиболее быстрый прирост дрожжевой биомассы, в том числе клеток с гликогеном, отмечен в случае хлебопекарных дрожжей «Nevada», более длительное накопление дрожжей в процессе брожения наблюдалось для образца дрожжей «Fermipan brown». Полученные варианты кваса имели хорошие органолептические характеристики, показатели качества соответствовали требуемым нормам. Предложенную технологию можно рекомендовать к внедрению в действующие пивоваренные предприятия.

Ключевые слова: квас, сухие микроорганизмы, органолептические характеристики, показатели качества, квасоварение.

The use of dry microorganisms in the production of kvass

Julia Yu. Miller	¹	miller.yuliya@mail.ru	 0000-0001-5490-4804
Tatiana F. Kiseleva	²	kisseleva.tf@mail.ru	 0000-0003-1886-3544
Valentina A. Pomozova	³	pomozo.va@mail.ru	 0000-0002-6492-7003

1 Siberian University of Consumer Cooperation, 26, Karl Marx Ave, Novosibirsk, 630087, Russia

2 Kemerovo State University, 6, Krasnaya St., Kemerovo, 650000, Russia

3 Electronic Ural State University of Economics, 62/45, ul. 8 Marta / Narodnaya Volya, Ekaterinburg, 620144, Russia

Abstract. One of the ways to improve kvass production is the use of dry microorganisms in the technology. The work shows the possibility of using such dry microorganisms as "Saf-instant", "Saf-levur", "Fermipan brown", "Nevada" at the fermentation stage. Yeasts were used for fermentation of kvass wort obtained by infusion method on the basis of barley, unfermented rye and fermented rye malts. Yeast cultures were pre-watered for 1 hour before use, then introduced into the wort in the amount of 20 million cells/cm³. During the experiment the fermentation process was monitored by the reduction of dry matter in the fermented kvass, as well as the physiological state of yeast during the whole fermentation period. The duration of fermentation to the required dry matter content in fermented kvass (5.6–5.8%) was 15 hours for "Nevada" microorganisms, 18 hours for "Saf-instant" and "Saf-levur", 20 hours for "Fermipan brown". It was noted that all yeasts adapted to fermentation conditions rather quickly, on average in 3–5 hours, their active reproduction was observed. Yeast biomass increased on average by 3.5 times, high content of viable cells and cells with glycogen (up to 74–81%) was observed. The fastest growth of yeast biomass, including cells with glycogen, was observed in the case of baker's yeast "Nevada", a longer accumulation of yeast during fermentation was observed for the sample of yeast "Fermipan brown". The obtained variants of kvass had good organoleptic characteristics, quality indicators corresponded to the required standards. The proposed technology can be recommended for implementation in existing beer and soft drinks enterprises.

Keywords: kvass, dry microorganisms, organoleptic characteristics, quality indicators, kvass brewing.

Введение

Одной из важных стадий производства кваса является сбраживание квасного сусла. В результате брожения образуется этиловый

спирт, как основной продукт, а также ряд вторичных, побочных продуктов брожения, участвующих в формировании органолептических характеристик кваса. Ключевую роль в этом играет выбор микроорганизмов.

Для цитирования

Миллер Ю.Ю., Киселева Т.Ф., Помозова В.А. Использование сухих микроорганизмов в производстве кваса // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 189–196. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-189-196

For citation

Miller Ju.Yu., Kiseleva T.F., Pomozova V.A. The use of dry microorganisms in the production of kvass. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 189–196. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-189-196

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

В настоящее время в производстве напитков брожения используются различные микроорганизмы, постоянно ведется поиск новых культур, не используемых ранее в предлагаемых областях бродильных производств [1–6]. Для квасоварения также актуальна данная проблема. Предлагаются к использованию не только традиционные сбраживающие микроорганизмы, но новые, имеющие определенные преимущества, в том числе сухие сбраживающие культуры [7–9]. Кроме этого, постоянно ведутся исследования в области улучшения качественных и технологических характеристик сбраживающих микроорганизмов [10, 11–20].

Выбор сбраживающей культуры обуславливается их бродильной активностью, адаптивностью к сбраживаемой среде, способностью к флокуляции, формированию вкусовых и ароматических соединений в напитке, а также возможностью введения в действующие предприятия пивобезалкогольной отрасли.

Классическая технология кваса предусматривает использование при брожении комбинированной закваски, приготовленной из молочнокислых бактерий и квасных дрожжей. Данный вариант имеет определенные преимущества – с одной стороны, с технологической точки зрения, возможна интенсификация процесса сбраживания за счет синергического эффекта взаимодействия двух культур, с другой – возможность получения напитка с высокими органолептическими характеристиками. Однако кроме преимуществ данный способ сбраживания имеет некоторые недостатки – трудоемкость подготовки комбинированной закваски, ее хранения, а также опасность возникновения инфицирования производства молочнокислыми бактериями.

Использование в технологии кваса сухих микроорганизмов решает описанные выше проблемы, в целом упрощает производственный цикл с технической и экономической сторон, а подбор микроорганизмов и создание оптимальных условий для их жизнедеятельности –

размножения, в целом физиологического состояния, метаболических процессов, позволит улучшить органолептические показатели кваса. Нами предлагается использовать сухих микроорганизмы разных производителей в производстве кваса на основе зернового сырья, оценить возможность их применения в технологии кваса по технологическим показателям сбраживаемого кваса, физиологического состояния дрожжей в процессе брожения, качественным показателям готового кваса.

Цель работы – исследовать возможность использования сухих хлебопекарных дрожжей в производстве кваса, оценить процесс брожения предложенными микроорганизмами.

Материалы и методы

Объектами исследований являлись солод, сухие хлебопекарные дрожжи, квас. Предмет исследования – физиологическое состояние дрожжей (общее количество клеток в среде, количество мертвых клеток и клеток с гликогеном), органолептические и физико-химические показатели кваса.

Материалами исследования являлись ячменный солод, ржаной ферментированный солод, ржаной неферментированный солод, сухие хлебопекарные дрожжи «Fermipan brown», «Nevada», «Saf-instant», «Saf-levur».

Ячменный и ржаной солода использовались в технологии кваса как основное сырье на стадии приготовления квасного суслу. Качественные показатели соложеного сырья и сухих хлебопекарных дрожжей представлены в таблицах 1 и 2.

Представленные в таблице 1 данные по соложеному сырью демонстрируют высокие качественные и технологические показатели, отвечающие требованиям стандарта, а также требованиям к солоду, используемому в производстве напитков брожения, в данном случае отражающиеся в достаточно высоком уровне ферментативной активности, необходимой для адекватного проведения процесса приготовления квасного суслу, в частности затиария.

Таблица 1.

Качественные показатели солодов

Table 1.

Quality indicators of malts

Показатель Index	Содержание в солоде Malt content		
	ячменный barley	ржаной неферментированный unfermented rye	ржаной ферментированный fermented rye
Массовая доля влаги, % Mass fraction of moisture, %	5.0±0.1	7.1±0.1	7.0±0.1
Массовая доля экстракта в сухом солоде, % Mass fraction of extract in dry malt, %	79.7±0.1	80.5±0.1	84.7±0.1
Массовая доля белка, % Mass fraction of protein, %	11.3±0.1	9.4±0.1	8.3±0.1
Массовая доля крахмала, % Mass fraction of starch, %	51.4±0.1	52.5±0.5	51.1±0.5
Амилолитическая активность, ед./г Amylolytic activity, units/g	316.0±0.1	165.2±0.1	145.7±0.1
Протеолитическая активность, ед./г Proteolytic activity, units/g	60.7±0.1	28.2±0.1	24.4±0.1
Цитолитическая активность, ед./г Cytolytic activity, units/g	-	258.1±0.1	227.6±0.1

Качественные показатели сухих хлебопекарных дрожжей

Table 2.

Quality parameters of dry baker's yeast

Показатель Index	Значение Value			
	«Saf-instant»	«Saf-levur»	«Fermipan brown»	«Nevada»
Массовая доля влаги, % Mass fraction of moisture, %	7.5±0.1	7.4±0.1	6.9±0.1	7.1±0.1
Подъемная сила дрожжей, мин Yeast lifting power, min	47±1	49±1	55±1	52±1
Зимазная активность, ед./г Zymase activity, units/g	52.4±0.1	53.3±0.1	43.1±0.1	66.2±0.1
Мальтазная активность, ед./г Maltase activity, units/g	10.5±0.1	11.5±0.1	12.8±0.1	8.4±0.1

Результаты комплексной оценки по качественным и технологическим показателям в соответствии с требованиями стандарта и технологии, представленные в таблице 2, дают основание предполагать о возможности использования выбранных микроорганизмов в производстве кваса. Приоритетными показателями выбора данных дрожжей являлись зимазная и мальтазная активности, отвечающие за сбраживание глюкозы и мальтозы соответственно. Уровень ферментативной активности свидетельствует о высоком качестве дрожжевых культур.

Методы исследования:

– оценка качества солода и кваса – традиционные методы оценки качества сырья, полупродуктов и готовых напитков в пивоваренно-алкогольной отрасли;

– оценка качества сухих хлебопекарных дрожжей по показателям массовой доли влаги и подъемной силы – методы, предусмотренные стандартом; зимазная и мальтазная активности – поляриметрическим методом по изменению угла поворота плоскости поляризации реакционной среды до и после действия ферментов на субстрат;

– общее количество дрожжевых клеток и их физиологическое состояние – микроскопированием.

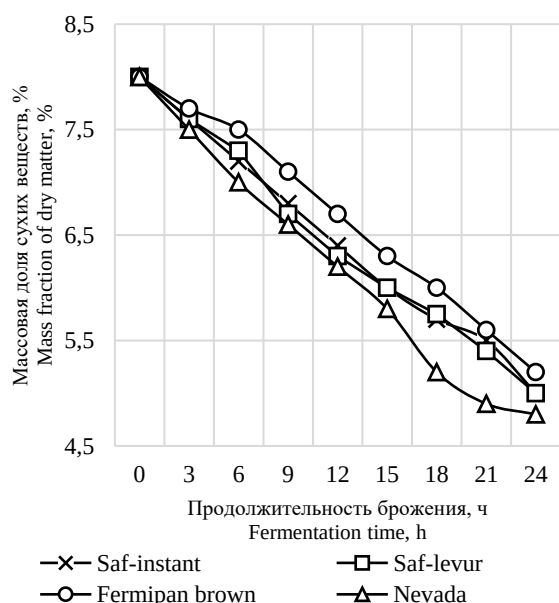


Рисунок 1. Динамика брожения

Figure 1. Fermentation dynamics

Результаты и обсуждение

Поскольку основной целью исследования являлась оценка возможности использования сухих дрожжей в производстве кваса, то эксперимент был построен следующим образом. Готовили квасное сусло на основе описанных в разделе 3 солодов и затем подвергали его сбраживанию сухими дрожжами, контролируя при этом снижение массовой доли сухих веществ в сбраживаемой среде, а также физиологическое состояние дрожжей.

Квасное сусло готовили настольным способом – смешивали все солода в соотношении 2:2:1 ячменный: ржаной неферментированный: ржаной ферментированный при гидромодуле 1:4 и выдерживали в течение 30 минут на паузах затирования 52, 63 и 70 °С, затем доводили до 78 °С и фильтровали. Дрожжи перед использованием подвергали обводнению в течение 1 часа при 30 °С, а затем вносили в квасное сусло в количестве 20 млн кл./см³. Брожение проводили при температуре 28–30 °С в течение 24 часов.

На рисунке 1 представлена информация по снижению экстракта при брожении, на рисунке 2, динамика накопления дрожжевой биомассы в сбраживаемой среде.

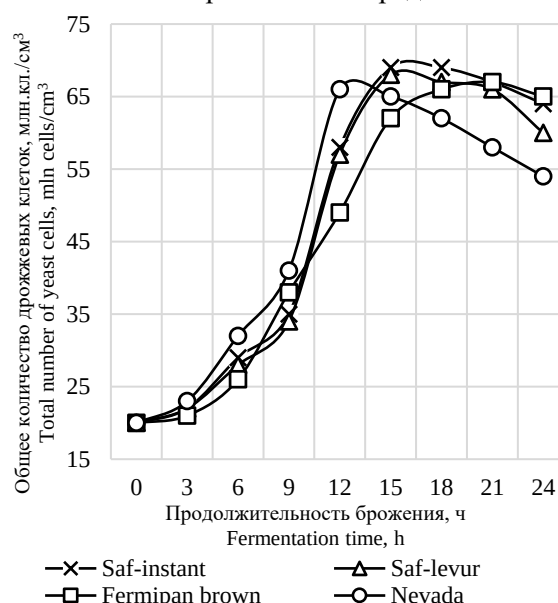


Рисунок 2. Рост биомассы дрожжей

Figure 2. Growth of yeast biomass

Из представленных данных рисунков 1 и 2, прежде всего, видно, что все предложенные к использованию сухие хлебопекарные дрожжи с технологической точки зрения можно считать пригодным в производстве кваса. Все образцы за отведенный период брожения, предусмотренный классической технологией, достигли требуемого уровня снижения сухих веществ на 2,2–2,4%. При этом отмечено, что для выполнения данной технологической задачи потребовалось для некоторых вариантов всего 15–18 часов.

Так образцы кваса, сброженные хлебопекарными дрожжами *Saf-instant* и *Saf-levur*, брожение которых происходило практически одинаково, к 18 часам сбраживания достигли уровня сухих веществ 5,7%, а образец кваса, сброженный дрожжами *Nevada*, за этот же период брожение достиг уровня сухих веществ 5,2%, что в данном случае является «перебродом», поскольку снижение сухих веществ более чем на 2,5% приводит к повышенному содержанию спирта, недопустимого стандартом. В связи с этим брожение кваса дрожжами «*Nevada*» следует остановить через 15 часов от начала процесса. Менее выраженное в сравнении с описанными выше образцами брожение проходило в случае использования сухих дрожжей «*Fermipan brown*». Только к 20 часам брожения массовая доля сухих веществ в квасе достигла уровня 5,8%. Тем не менее, это является допустимой продолжительностью для процесса брожения поскольку

в классических технологиях продолжительность брожения квасного суслу комбинированной закваской составляет в среднем 24 часа.

Что касается накопления дрожжевой биомассы, то следует отметить общую тенденцию накопления дрожжей в максимальном их количестве через несколько часов адаптационного периода и снижения количества дрожжевых микроорганизмов в среднем через 3–5 часов нахождения их концентрации на пике. При этом самым быстрым образцом сухих дрожжей, прошедший максимально быстро период адаптации, является образец «*Nevada*», максимальное количество дрожжевой биомассы которых составило 66 млн. кл./см³ к 12 часам брожения. Дрожжи «*Saf-instant*» и «*Saf-levur*» одинаковым образом накапливали свою биомассу в сбраживаемой среде – через 9 часов адаптационного периода ускорилось размножение дрожжей и 15–18 часам процесса их накопление стало максимально. Дрожжи «*Fermipan brown*» дольше всех остальных сбраживающих микроорганизмов адаптировались к среде и накапливали свою биомассу. Так только через 20 часов брожения произошел их пик размножения, в то время как для остальных микрочультур на данном этапе происходило уже их отмирание.

На рисунках 3 и 4 представлены данные по физиологическому состоянию хлебопекарных дрожжей в период брожения с тем же интервальным периодом контроля.

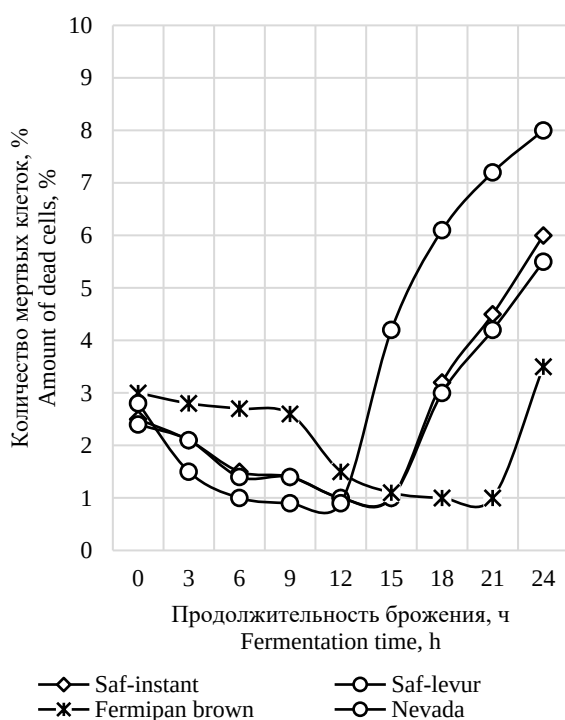


Рисунок 3. Динамика накопления мертвых клеток
Figure 3. Dynamics of dead cell accumulation

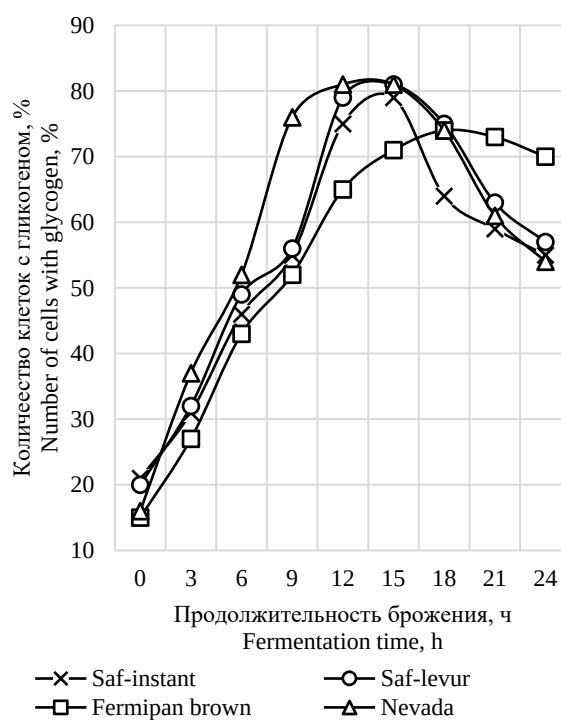


Рисунок 4. Динамика накопления клеток с гликогеном
Figure 4. Dynamics of accumulation of cells with glycogen

Представленные результаты оценки физиологического состояния дрожжей демонстрируют факт их адаптивности к предложенной среде – квасное сусло на основе ячменного и ржаного солодов. Имеющаяся начальная концентрация мертвых клеток в диапазоне 2,4–3,0% для всех образцов дрожжей находится на низком уровне и свидетельствует о высоком исходном качестве всех дрожжевых культур и наличии большого количества жизнеспособных клеток. В целом отмечена общая динамика в начальный период времени (период адаптации) снижения количества мертвых клеток за счет их размножения и через определенный интервал их резкое увеличение, что является естественным в период затухающей фазы брожения.

Результаты, представленные на рисунке 4, свидетельствуют об оптимальном составе среды, содержащий все необходимые питательные компоненты, позволяющем дрожжам накапливать резервные вещества. При этом процентное содержание дрожжевых клеток с гликогеном во всей биомассе достигает в пик брожения уровня 74–81% для всех образцов дрожжей.

В целом процесс брожения протекал свойственным ему образом. Размножение дрожжей

и их пребывание в активном состоянии наблюдалось визуально по распределению микроорганизмов в сбраживаемой среде, образованию диоксида углерода и пены на поверхности кваса. В конце брожения дрожжи оседали по-разному. Так микроорганизмы «Nevada» к концу сбраживания начинали оседать на дне, наблюдалось осветление кваса. Дрожжи «Saf-instant» и «Saf-levur» к 24 часам процесса также понемногу оседали, не так выражено, как в случае с дрожжами «Nevada», но тем не менее визуально было видно, что процесс брожения завершается. Дрожжи «Fermipan brown» в меньшей степени были готовы к осаждению, складывалось впечатление, что для них процесс брожения может еще продолжаться.

По завершении 24 часов сбраживания все образцы кваса охлаждали при температуре 2–4 °С в течение 12 часов, снимали с дрожжевого осадка, и проводили оценку их качества. Результаты исследования представлены в таблице 3, свидетельствующие о соответствии полученных значений по определяемым показателям требованиям нормативного документа.

Таблица 3.

Показатели качества кваса

Table 3.

Kvass quality indicators

Показатели Index	Образец Sample			
	Saf-instant	Saf-levur	Fermipan brown	Nevada
Массовая доля сухих веществ, % Mass fraction of dry matter, %	5.8±0.1	5.8±0.1	6.0±0.1	5.6±0.1
Кислотность, к.ед. Acidity, k.unit.	3.1±0.1	3.1±0.1	2.8±0.1	3.2±0.1
Объемная доля этилового спирта, % Volume fraction of ethyl alcohol, %	1.1±0.1	1.1±0.1	1.0±0.1	1.2±0.1

С точки зрения оценки образцов кваса по органолептическим показателям следует отметить некоторые отличия образов друг от друга по вкусо-ароматическим характеристикам, а также накоплению углекислого газа. Так:

– образец 1 имел выраженный гармоничный полный вкус и аромат, свойственные квасу, достаточно насыщен углекислым газом;

– образец 2 имел схожие органолептические характеристики с образцом № 1, по вкусу был более резкий;

– образец 3 отличался от остальных образцов небольшой дрожжевой горечью во вкусе, возможно, вызванной недостаточно полным осаждением дрожжей после брожения ввиду их активного состояния в конце брожения, а также слабо выраженным насыщением диоксидом углерода, что также следует рассматривать как результат незавершенного брожения;

– образец 4 отличался хорошими органолептическими характеристиками – гармоничным

полным вкусом, с фруктовым привкусом, чистым, свежим, свойственный квасу ароматом, выраженной насыщенностью углекислым газом, хорошей резкостью.

Заключение

Проведенные исследования подтверждают возможность получения кваса с высокими показателями качества на основе зернового сырья с использованием сухих хлебопекарных дрожжей, что дает ряд преимуществ в производстве кваса, в том числе упрощение технологической линии, удобство использования и хранения дрожжей, исключение риска инфицирования производства. Сухие хлебопекарные дрожжи не требуют длительной подготовки перед использованием, квасное сусло на основе зернового сырья удовлетворяет их потребности в питании, что отражается в их хорошем физиологическом состоянии и активном брожении кваса. Предложенный способ сбраживания кваса без капитальных затрат может быть внедрен в пивобезалкогольные предприятия.

Литература

- 1 Захматова А.Д., Сабо Д.А., Каменская Е.П. Использование винных дрожжей для сбраживания медового сусла // Ползуновский альманах. 2022. Т. 2. №. 2. С. 26-29.
- 2 Пескова И.В. Аспекты использования дрожжей не-*Saccharomyces* в виноделии // Магарач. Виноградарство и виноделие. 2021. Т. 23. №. 2. С. 190-200.
- 3 Ионов В.В., Барботин В.Р., Мартыненко Н.Н. Получение слабоалкогольного пива с использованием нетрадиционных дрожжей *Lachancea Thermotolerans* // Современная школа России. Вопросы модернизации. 2021. №. 3-2. С. 282-284.
- 4 Кишковская С.А., Танащук Т.Н., Авданина Д.А., Эльдаров М.А. и др. Скрининг перспективных штаммов дрожжей для производства хересных вин с использованием генетических и энологических маркеров // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56. №. 3. С. 537-548.
- 5 Жирова В.В., Прилепа М.В., Миронова О.Г. Изучение процесса брожения с использованием активных сухих дрожжей для производства столовых вин // Вопросы науки: инноватика, техника и технологии. 2019. №. 1. С. 132-135.
- 6 Чалдаев П.А., Кашаев А.Г., Леучев А.Е., Малышкин С.С. Влияние вида дрожжей на качество сидрового материала // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. №. 2 (76). С. 220-224. doi: 10.20914/2310-1202-2018-2-220-224
- 7 Кротов А.С. Исследование особенностей жизнедеятельности молочнокислых бактерий при производстве кваса // Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством. 2020. Т. 1. №. 1. С. 288-291.
- 8 Гернет М.В. Перспективы расширения ассортимента напитков брожения для пивоваренных заводов малой мощности // Пиво и напитки. 2017. №. 3. С. 14-17.
- 9 Миллер Ю.Ю. Исследование возможности применения сухих микроорганизмов в производстве кваса на основе концентрата квасного сула // Вестник Сибирского университета потребительской кооперации. 2018. №. 4. С. 68-74.
- 10 Меледина Т.В., Иванова В.А., Разан Х., Головинская О.В. и др. Влияние параметров процесса культивирования дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* в простой периодической культуре на выход биомассы и биосинтез некоторых клеточных компонентов // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. №. 2 (76). С. 175-181. doi: 10.20914/2310-1202-2018-2-175-181
- 11 Пермякова Л.В., Помозова В.А., Верещагин А.Л. Применение смеси кислот цикла Кребса в сверхнизких концентрациях для активации культуры пивных дрожжей // Пиво и напитки. 2018. №. 1. С. 20-24.
- 12 Wang P., Wu J., Wang T., Zhang Y. et al. Fermentation process optimization, chemical analysis, and storage stability evaluation of a probiotic barley malt kvass // Bioprocess and Biosystems Engineering. 2022. Т. 45. №. 7. С. 1175-1188.
- 13 Ekin H.N., Orhan D.D. Kvass: A Fermented Traditional Beverage // Fermented Food Products. CRC Press, 2019. P. 287-294.
- 14 Smotraeva I.V. et al. Development of probiotic drink production technology with the addition of citrus juice // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. V. 677. №. 3. P. 032044. doi: 10.1088/1755-1315/677/3/032044
- 15 Basinskiene L., Juodeikiene G., Vidmantienė D., Tenkanen M. et al. Non-alcoholic beverages from fermented cereals with increased oligosaccharide content // Food technology and Biotechnology. 2016. V. 54. №. 1. P. 36-44.
- 16 Lidums I., Karklina D., Kirse A. Comparison of bread kvass fermented with different yeasts // Ad Alta: Journal of Interdisciplinary Research. 2016. V. 6. №. 2.
- 17 Kolobaeva A.A., Kotik O.A., Sorokina I.A., Ponomareva T.V. Expanding the assortment of fermented beverages at small enterprises // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2020. V. 422. №. 1. P. 012083. doi: 10.1088/1755-1315/422/1/012083
- 18 Lidums I., Karklina D., Kirse A. Quality parameters of fermented kvass extract // Chemical Technology. 2016. V. 67. №. 1. P. 73-76.
- 19 Eliseev M.N., Alekseeva O.M. Identification of Soft Drinks and kvass fermentation drinks // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. V. 9. №. 3. P. 697-701.
- 20 Baschali A., Tsakalidou E., Kyriacou A., Karavasiloglou N. et al. Traditional low-alcoholic and non-alcoholic fermented beverages consumed in European countries: A neglected food group // Nutrition Research Reviews. 2017. V. 30. №. 1. P. 1-24.

References

- 1 Zakhmatova A.D., Sabo D.A., Kamenskaya E.P. Use of wine yeast for fermentation of honey wort. Polzunovsky almanac. 2022. vol. 2. no. 2. pp. 26-29. (in Russian).
- 2 Peskova I.V. Aspects of the use of non-*Saccharomyces* yeasts in winemaking. Magarach. Viticulture and winemaking. 2021. vol. 23. no. 2. pp. 190-200. (in Russian).
- 3 Ionov V.V., Barbotin V.R., Martynenko N.N. Production of low-alcohol beer using non-traditional yeast *Lachancea Thermotolerans*. Modern school of Russia. Modernization issues. 2021. no. 3-2. pp. 282-284. (in Russian).
- 4 Kishkovskaya S.A., Tanashchuk T.N., Avdanina D.A., Eldarov M.A. and others. Screening of promising yeast strains for the production of sherry wines using genetic and oenological markers. Agricultural biology. 2021. vol. 56. no. 3. pp. 537-548. (in Russian).
- 5 Zhironova V.V., Prilepa M.V., Mironova O.G. Study of the fermentation process using active dry yeast for the production of table wines. Questions of science: innovation, technology and technology. 2019. no. 1. pp. 132-135. (in Russian).
- 6 Chaldae P.A., Kashaev A.G., Leuchev A.E., Malyshev S.S. The influence of the type of yeast on the quality of cider material. Proceedings of VSUET. 2018. vol. 80. no. 2 (76). pp. 220-224. doi: 10.20914/2310-1202-2018-2-220-224 (in Russian).
- 7 Krotov A.S. Study of the characteristics of the life activity of lactic acid bacteria during the production of kvass. Current issues of the dairy industry, interindustry technologies and quality management systems. 2020. vol. 1. no. 1. pp. 288-291. (in Russian).
- 8 Gernet M.V. Prospects for expanding the range of fermented drinks for low-capacity breweries. Beer and drinks. 2017. no. 3. pp. 14-17. (in Russian).
- 9 Miller Yu.Yu. Study of the possibility of using dry microorganisms in the production of kvass based on kvass wort concentrate. Bulletin of the Siberian University of Consumer Cooperation. 2018. no. 4. pp. 68-74. (in Russian).

- 10 Meledina T.V., Ivanova V.A., Razan H., Golovinskaya O.V. and others. The influence of the parameters of the process of cultivating the yeast *Saccharomyces cerevisiae* in a simple batch culture on the yield of biomass and the biosynthesis of some cellular components. *Proceedings of VSUET*. 2018. vol. 80. no. 2 (76). pp. 175-181. doi: 10.20914/2310-1202-2018-2-175-181 (in Russian).
- 11 Permyakova L.V., Pomozova V.A., Vereshchagin A.L. Application of a mixture of Krebs cycle acids in ultra-low concentrations to activate brewer's yeast culture. *Beer and drinks*. 2018. no. 1. pp. 20-24. (in Russian).
- 12 Wang P., Wu J., Wang T., Zhang Y. et al. Fermentation process optimization, chemical analysis, and storage stability evaluation of a probiotic barley malt kvass. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. 2022. vol. 45. no. 7. pp. 1175-1188.
- 13 Ekin H.N., Orhan D.D. Kvass: A Fermented Traditional Beverage // *Fermented Food Products*. CRC Press, 2019. pp. 287-294.
- 14 Smotraeva I.V. et al. Development of probiotic drink production technology with the addition of citrus juice. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2021. vol. 677. no. 3. pp. 032044. doi: 10.1088/1755-1315/677/3/032044
- 15 Basinskiene L., Juodeikiene G., Vidmantienė D., Tenkanen M. et al. Non-alcoholic beverages from fermented cereals with increased oligosaccharide content. *Food technology and Biotechnology*. 2016. vol. 54. no. 1. pp. 36-44.
- 16 Lidums I., Karklina D., Kirse A. Comparison of bread kvass fermented with different yeasts. *Ad Alta: Journal of Interdisciplinary Research*. 2016. vol. 6. no. 2.
- 17 Kolobaeva A.A., Kotik O.A., Sorokina I.A., Ponomareva T.V. Expanding the assortment of fermented beverages at small enterprises. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2020. vol. 422. no. 1. pp. 012083. doi: 10.1088/1755-1315/422/1/012083
- 18 Lidums I., Karklina D., Kirse A. Quality parameters of fermented kvass extract. *Chemical Technology*. 2016. vol. 67. no. 1. pp. 73-76.
- 19 Eliseev M.N., Alekseeva O.M. Identification of Soft Drinks and kvass fermentation drinks. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018. vol. 9. no. 3. pp. 697-701.
- 20 Baschali A., Tsakalidou E., Kyriacou A., Karavasiloglou N. et al. Traditional low-alcoholic and non-alcoholic fermented beverages consumed in European countries: A neglected food group. *Nutrition Research Reviews*. 2017. vol. 30. no. 1. pp. 1-24.

Сведения об авторах

Юлия Ю. Миллер к.т.н., доцент, кафедра товароведения и экспертизы, Сибирский университет потребительской кооперации, пр-т Карла Маркса, 26, Новосибирск, 630087, Россия, miller.yuliya@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5490-4804>

Татьяна Ф. Киселева д.т.н., профессор, кафедра технологии продуктов питания из растительного сырья, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, Кемерово, 650000, kisseleva.tf@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1886-3544>

Валентина А. Помозова д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник, Научно-образовательный центр «Технологии инновационного развития», Электронный Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта / Народной Воли, 62/45, г. Екатеринбург, 620144, Россия, pomozo.va@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6492-7003>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Julia Yu. Miller Cand. Sci. (Engin.), associate professor, commodity science and product expertise department, Siberian University of Consumer Cooperation, Karl Marx Ave, 26, Novosibirsk, 630087, Russia, miller.yuliya@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5490-4804>

Tatiana F. Kiseleva Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of the food products from plant raw materials department, Kemerovo State University, Krasnaya st., 6, Kemerovo, 650000, Russia, kisseleva.tf@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1886-3544>

Valentina A. Pomozova Dr. Sci. (Engin.), professor, leading researcher, Scientific and Educational Center "Technologies of Innovative Development", Electronic Ural State University of Economics, st. 8 Marta / Narodnaya Volya, 62/45, Ekaterinburg, 620144, Russia, pomozo.va@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6492-7003>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 22/01/2024	После редакции 07/02/2024	Принята в печать 26/02/2024
Received 22/01/2024	Accepted in revised 07/02/2024	Accepted 26/02/2024

Studying factors affecting yields of toxic compounds in smoke of products made of smoking fine cut tobacco

Ekaterina Yu. Smirnova ¹	katrinka.smirnova@gmail.com	 0000-0001-9213-9656
Evgeniya V. Gnuchikh ¹	gnu20072007@yandex.ru	 0000-0002-1565-3704
Evgeny A. Bubnov ¹	hookj@mail.ru	 0000-0003-4429-6440
Anatoly A. Slavyansky ²	mgutu-sahar@mail.ru	 0000-0002-0262-8841

¹ All Russian Research Institute of Tobacco, Makhorka and Tobacco Products, Moskovskaya street, 42, Krasnodar, Russia, 350042, Russia

² Moscow State University of Technology and Management. K.G. Razumovsky, Zemlyanoy Val street, 73, Moscow, 109004, Russia

Abstract. Currently, the Russian market offers a wide range of smoking tobacco products. Cigarettes are in greatest demand. However, for many reasons, including high selling prices due to rising excise taxes, and dissatisfaction with taste characteristics, cigarette consumption is declining. There is a partial transition of consumers to other types of products, with fine-cut smoking tobacco being an alternative and obvious choice. From fine-cut smoking tobacco, consumers independently make products (roll-your-own cigarettes) of the Roll Your Own (RYO) type without a filter, wrapping a portion of tobacco with special paper manually, combining different types of tobacco, using different papers, changing the mass of tobacco and the diameter of the product, creating a product that meets taste preferences. Considering that nicotine and tar carry a toxic load for the body of consumers, it is relevant to study the content of smoke components of fine-cut smoking tobacco products (rolled tobacco), which may depend on many factors (weight of the product, diameter of the product, properties of tobacco, properties of paper). In present article technological properties of different tobacco sorts: Virginia Gold, Burley, Immuniy 580 and tobacco blend made of these sorts were examined. Composition of papers for hand made cigarettes and their air permeability were analyzed. Effect of products' constructive properties on contents of toxic compounds in the smoke (tar, nicotine) was studied. Correlation between cigarette paper air permeability and chemical composition of the smoke was experimentally found. Utilization paper with low air permeability increases nicotine and tar content in the smoke of final product. Increasing diameter and mass of the product also leads to increasing of tar and nicotine content.

Keywords: smoking tobacco, rolling paper, air permeability of paper, chemical composition, smoke, nicotine, resin, carbon monoxide.

Introduction

Researches on fine cut tobacco and products made of it are carried in FSBSI ARSRITTP at present moment. These researches are directed on studying technological properties of fine cut tobacco and chemical composition of smoke of final products. It is worth mentioning that at present time State regulation of toxic compounds contents in the smoke of products made of fine cut tobacco are absent. This is complicated factor for elaborating products with decreased toxicity, desired consumers' properties and technologies for their manufacturing. So further complex studies of this type of smoking product have significant scientific and practical interest and are prospective and actual.

Fine cut tobacco is utilized for making smoking product manually by inserting tobacco into ready cigarette plug or wrapping tobacco portion by special paper. Contents of toxic compounds in the smoke of products made of fine cut tobacco are affected by product construction (mass, diameter), composition of smoking tobacco and paper for its making [1].

Materials and Methods

Tobacco sorts with different taste and aroma properties and chemical composition were chosen for the research. They are: Virginia Gold, Burley, Immuniy 580 and tobacco blend made of these sorts in ratio 50:25:25.

Standard methods adopted for tobacco industry were utilized for carried researches [2–10]:

- measuring cut width according to GOST 33789–2016 (ISO 20193:2012) “Tobacco and tobacco products. Determination of the width of the strands of cut tobacco” [2];

- sampling according to GOST R 53976–2010 (ISO 15592–1:2001) “Fine cut smoking tobacco and smoking articles made of it. Part 1: Sampling” [3];

- conditioning and testing under certain air conditions according to GOST 32795–2014 (ISO 15592–2:2001) “Fine cut smoking tobacco and smoking articles made of it. Methods for sampling, conditioning and analysis. Part 2: Atmosphere for conditioning and testing” [4];

Для цитирования

Смирнова Е.Ю., Гнучих Е.В., Бубнов Е.А., Славянский А.А. Исследование факторов, влияющих на содержание токсичных веществ в дыме изделий из табака курительного тонкорезаного // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 196–200. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-196-200

For citation

Smirnova E.Yu., Gnuchikh E.V., Bubnov E.A., Slavyansky A.A. Studying factors affecting yields of toxic compounds in smoke of products made of smoking fine cut tobacco. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 196–200. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-196-200

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

– machine smoking of products according to international standard ISO 15592–3:2008 “Fine-cut tobacco and smoking articles made from it. Methods of sampling, conditioning and analysis. Part 3: Determination of total particulate matter of smoking articles using a routine analytical smoking machine, preparation for the determination of water and nicotine, and calculation of nicotine-free dry particulate matter” [5];

– measuring air permeability of cigarette paper according to GOST R 51295–2014 (ISO 2965:2009) “Cigarette paper, paper for filter wrapping and tipping paper including paper with separate or oriented perforated zone and paper with lines of different air permeability. Measuring air permeability” [6];

– tar defining according to GOST 30571–2003 (ISO 4387:2000) / GOST R 51976–2002 (ISO 4387:2000) “Cigarettes. Determination of total and nicotine-free dry particulate matter using a routine analytical smoking machine” [7];

– nicotine defining according to GOST 30570–2015 (ISO 10315:2013) “Cigarettes. Determination of nicotine in smoke condensates. Gas-chromatographic method” [8];

– water defining according to GOST 30622.1–2003 (ISO 10362–1:1999) “Cigarettes. Determination of water in total particulate matter from the mainstream smoke. Part 1: Gas-chromatographic method” [9].

Results

At first stage of the research technological properties, chemical composition and tasting of each sample were carried. Experimental results on technological properties of fine cut smoking tobacco are presented in table 1.

Table 1.

Technological properties of different samples of fine cut smoking tobacco

Tobacco (blend) name	Water content, %	Weight content, %		Width of the strands, mm	Tasting, points
		strand	dust		
Virginia Gold	17,67	78,42	0,36	0,8	72,4
Burley	19,78	77,90	0,24	0,8	63,1
Immuniy 580	19,67	76,26	0,38	0,8	62,7
Tobacco blend	18,49	76,80	0,40	0,8	70,5

As table 1 shows tobacco of Virginia Gold sort has maximum output of strand – 78.42% and high tasting score – 72.4 points.

The lowest strand output and tasting score has the tobacco of Immuniy 580 sort.

Table 2.

Chemical composition of cured tobacco

Tobacco (blend) name	Nicotine, %	Carbohydrates, %	Proteins, %	pH
Virginia Gold	0,6	18,6	5,7	5,5
Burley	1,3	1,4	9,1	6,3
Immuniy 580	1,2	3,4	9,2	5,5
Tobacco blend	0,9	11,5	7,8	5,6

During further studies for defining effect of product construction and paper air permeability samples of products were made of fine cut tobacco manually by special device consisting of plastic body two rollers and flexible belt. According to international standard ISO 15592–3 each type of smoking product was made with mass 400 mg (diameter 5.2 mm) and 750 mg (diameter 7.2 mm) utilizing paper of two types: A (OCB Premium on the base of rice with air permeability 10 CU) and B (OCB Organic Hemp on the base of cannabis with air permeability 3 CU) [10].

Table 3.

Chemical composition of products' smoke with different constructions made of fine cut tobacco

Tobacco (blend) name	Width of the strands, mm	Sample №	Diameter, mm	Mass, mg	Paper type	Nicotine, mg/sample	Tar, mg/sample
Virginia Gold	0,8	1	5,2	400	A	0,70	31,24
		2	5,2	400	B	0,67	33,07
		3	7,2	750	A	0,95	42,93
		4	7,2	750	B	1,11	44,89
Burley	0,8	5	5,2	400	A	1,28	29,88
		6	5,2	400	B	1,37	29,49
		7	7,2	750	A	1,86	40,93
		8	7,2	750	B	1,92	42,38
Immuniy 580	0,8	9	5,2	400	A	1,01	20,85
		10	5,2	400	B	1,08	23,67
		11	7,2	750	A	1,60	33,69
		12	7,2	750	B	1,68	32,69
Tobacco blend	0,8	13	5,2	400	A	0,94	28,55
		14	5,2	400	B	1,08	29,51
		15	7,2	750	A	1,48	40,05
		16	7,2	750	B	1,42	41,27

As table 3 shows samples of same diameter but with different paper types and air permeability nicotine and tar content is different. Sample 1 with 5.2 mm diameter and A type paper compared to sample 2 with same diameter and B type paper has 4.5% higher nicotine content and 5.8% lower tar content. Sample 3 with 7.2 mm diameter and A type paper compared to sample 4 with same diameter and B type paper has 16% lower nicotine content and 4.5% lower tar content. Sample 5 with 5.2 mm diameter and A type paper compared to sample 6 with same diameter and B type paper has 7% lower nicotine content and 1.4% higher tar content. Sample 7 with 7.2 mm diameter and A type paper compared to sample 8 with same diameter and B type paper has 3.2% lower nicotine content and 3.5% lower tar content. Sample 9 with 5.2 mm diameter and A type paper compared to sample 10 with same diameter and B type paper has 6.9% higher nicotine content and 13.5% lower tar content. Sample 11 with 7.2 mm diameter and A type paper compared to sample 12 with same diameter and B type paper has 5% lower nicotine content and 3.1% higher tar content. Sample 13 with 5.2 mm diameter and A type paper compared to sample 14 with same diameter and B type paper has 15% lower nicotine content and 3.3% lower tar content. Sample 15 with 7.2 mm diameter and A type paper compared to sample 16 with same diameter and B type paper has 4.2% higher nicotine content and 3% lower tar content.

Results of cigarette formats (diameters) comparison utilizing same paper types are presented below. Sample 1 with 5.2 mm diameter compared to sample 3 with 7.2 mm diameter has 26.3% lower nicotine content and 27.2% lower tar content. Sample 2 with 5.2 mm diameter compared to sample 4 with 7.2 mm diameter has 39.6% lower nicotine content and 26.3% lower tar content. Sample 5 with 5.2 mm diameter compared to sample 7 with 7.2 mm diameter has 31.2% lower nicotine content and 26.9% lower tar content. Sample 6 with 5.2 mm diameter compared to sample 8 with 7.2 mm diameter has 28.6% lower nicotine content and 30.4% lower tar content. Sample 9 with 5.2 mm diameter compared to sample 11 with 7.2 mm diameter has 36.9% lower nicotine content and 38.1% lower

tar content. Sample 10 with 5.2 mm diameter compared to sample 12 with 7.2 mm diameter has 35.7% lower nicotine content and 27.6% lower tar content. Sample 13 with 5.2 mm diameter compared to sample 15 with 7.2 mm diameter has 36.5% lower nicotine content and 28.7% lower tar content. Sample 14 with 5.2 mm diameter compared to sample 16 with 7.2 mm diameter has 23.9% lower nicotine content and 28.5% lower tar content.

Discussion

Construction of smoking product (paper and filter) has the most significant effect on toxic compounds (tar and nicotine) content. Researches carried earlier [1] don't take into account strength (nicotine content) of tobacco blend and its further correspondence with nicotine content in the smoke of products.

Data obtained after carried research prove effect of product construction (diameter and air permeability of paper) on tar and nicotine content in the smoke of products made of fine cut smoking tobacco. Not only product construction but also composition of tobacco blend (nicotine content) affects on content of toxic compounds in the smoke.

Conclusion

Carried researches allow making the following conclusions:

1. Tobacco blend composition, product mass and diameter, paper characteristics affect toxic compounds content in the smoke of fine cut smoking tobacco.

2. Utilizing paper A (OCB premium on the base of rice with air permeability 10 CU) with higher air permeability for making product from smoking tobacco leads to 16% nicotine and 13.5% tar content decreasing in the smoke compared to products made of paper B (OCB Organic Hemp on the base of cannabis with air permeability 3 CU).

3. Decreasing product diameter from 7.2 to 5.2 mm and mass from 750 to 400 mg leads to 39.6% decreasing nicotine and 38.1% decreasing tar contents.

4. In order to decrease toxic impact on consumers we recommend manufacturing products made of fine cut tobacco with mass 400 mg, 5.2 mm diameter utilizing paper with air permeability not lower than 10 CU.

References

- 1 Kaiserman M.J., Rickert W.S. Handmade cigarettes: it's the tube that counts. *American Journal of Public Health*. 1992. vol. 82, no. 1, pp. 107-109. doi: 10.2105/ajph.82.1.107
- 2 GOST 33789–2016 (ISO 20193:2012). Tobacco and tobacco products. Determination of the width of the strands of cut tobacco. M., Standardinform, 2017. 11 p. (in Russian).
- 3 GOST R 53976–2010 (ISO 15592–1:2001). Fine-cut tobacco and smoking articles made from it. Methods of sampling, conditioning and analysis. Part 1: Sampling. M., Standardinform, 2010. 16 p. (in Russian).
- 4 GOST 32795–2014 (ISO 15592–2:2001). Fine-cut tobacco and smoking articles made from it. Methods of sampling, conditioning and analysis. Part 2: Atmosphere for conditioning and testing. M., Standardinform, 2014. 10 p. (in Russian).
- 5 ISO 15592–3:2008. Fine-cut tobacco and smoking articles made from it – Methods of sampling. Conditioning and analysis – Part 3: Determination of total particulate matter of smoking articles using a routine analytical smoking machine, preparation for the determination of water and nicotine. And calculation of nicotine – free dry particulate matter. (in Russian).

- 6 GOST R 51295–2014 (ISO 2965:2009). Materials used as cigarette papers, filter plug wrap and filter joining paper, including materials having a discrete or oriented permeable zone and materials with bands of differing permeability. Determination of air permeability. Introduced 2015–07–01. M., Standardinform, 2015. 20 p. (in Russian).
- 7 GOST 30571–2003 (ISO 4387:2000) / GOST R 51976–2002 (ISO 4387:2000). Cigarettes. Determination of total and nicotine-free dry particulate matter using a routine analytical smoking machine. M., Standardinform, 2005. 12 p. (in Russian).
- 8 GOST 30570–2015 (ISO 10315:2013). Cigarettes. Determination of nicotine in smoke condensates. Gas-chromatographic method. M., Standardinform, 2016. 8 p. (in Russian).
- 9 GOST 30622.1–2003 (ISO 10362–1:1999). Cigarettes. Determination of water in total particulate matter from the mainstream smoke. Part 1: Gas-chromatographic method. M., Standardinform, 2005. 8 p. (in Russian).
- 10 Campo San Segundo M.T. et al. Fine-cut tobacco: a priority for public health and consumer advocacy. *Gaceta Sanitaria*. 2011. vol. 26. no. 3. pp. 267-269. doi: 10.1016/j.gaceta.2011.09.010
- 11 Soleimani F., Dobaradaran S., De-la-Torre G.E., Schmidt T.C. et al. Content of toxic components of cigarette, cigarette smoke vs cigarette butts: A comprehensive systematic review. *Science of the Total Environment*. 2022. vol. 813. pp. 152667.
- 12 Shihadeh A., Schubert J., Klaiany J., El Sabban M. et al. Toxicant content, physical properties and biological activity of waterpipe tobacco smoke and its tobacco-free alternatives. *Tobacco control*. 2015. vol. 24. no. 1. pp. i22-i30.
- 13 Farsalinos K.E., Gillman I.G., Melvin M.S., Paolantonio A.R. et al. Nicotine levels and presence of selected tobacco-derived toxins in tobacco flavoured electronic cigarette refill liquids. *International journal of environmental research and public health*. 2015. vol. 12. no. 4. pp. 3439-3452.
- 14 Farsalinos K.E., Gillman I.G., Melvin M.S., Paolantonio A.R. et al. Nicotine levels and presence of selected tobacco-derived toxins in tobacco flavoured electronic cigarette refill liquids. *International journal of environmental research and public health*. 2015. vol. 12. no. 4. pp. 3439-3452.
- 15 Auer R., Concha-Lozano N., Jacot-Sadowski I., Cornuz J. et al. Heat-not-burn tobacco cigarettes: smoke by any other name. *JAMA internal medicine*. 2017. vol. 177. no. 7. pp. 1050-1052. doi: 10.1001/jamainternmed.2017.1419
- 16 Ruprecht A.A., De Marco C., Saffari A., Pozzi P. et al. Environmental pollution and emission factors of electronic cigarettes, heat-not-burn tobacco products, and conventional cigarettes. *Aerosol science and technology*. 2017. vol. 51. no. 6. pp. 674-684. doi: 10.1080/02786826.2017.1300231
- 17 Goniewicz M.L., Knysak J., Gawron M., Kosmider L. et al. Levels of selected carcinogens and toxicants in vapour from electronic cigarettes. *Tobacco control*. 2014. vol. 23. no. 2. pp. 133-139.
- 18 Mallock N., Pieper E., Hutzler C., Henkler-Stephani F. et al. Heated tobacco products: a review of current knowledge and initial assessments. *Frontiers in Public Health*. 2019. vol. 7. pp. 287. doi: 10.3389/fpubh.2019.00287
- 19 Novotny T.E., Slaughter E. Tobacco product waste: an environmental approach to reduce tobacco consumption. *Current environmental health reports*. 2014. vol. 1. pp. 208-216.
- 20 Stephens W.E. Comparing the cancer potencies of emissions from vapourised nicotine products including e-cigarettes with those of tobacco smoke. *Tobacco control*. 2018. vol. 27. no. 1. pp. 10-17.

Information about authors

Contribution

Ekaterina Yu. Smirnova graduate student, researcher, laboratory of standardization and quality, Federal State Budget Scientific Research Institute “All Russian Research Institute of Tobacco, Makhorka and Tobacco Products”, Moskovskaya street, 42, Krasnodar, Russia, 350042, Russia, katrinka.smirnova@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-9213-9656>

Evgeniya V. Gnuchikh Dr. Sci. (Engin.), deputy director of research and innovation, Federal State Budget Scientific Research Institute “All Russian Research Institute of Tobacco, Makhorka and Tobacco Products”, Moskovskaya street, 42, Krasnodar, Russia, 350042, Russia, gnu20072007@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1565-3704>

Evgeny A. Bubnov Cand. Sci. (Engin.), a leading researcher of the Laboratory of Machine Agro-Industrial Technologies, Federal State Budget Scientific Research Institute “All Russian Research Institute of Tobacco, Makhorka and Tobacco Products”, Moskovskaya street, 42, Krasnodar, Russia, 350042, Russia, hookj@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4429-6440>

Anatoly A. Slavyansky Dr. Sci. (Engin.), professor, head of the department of innovative technologies of products from plant raw materials, Moscow State University of Technology and Management. K.G. Razumovsky, Zemlyanoy Val street, 73, Moscow, 109004, Russia, mgutu-sahar@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0262-8841>

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 29/01/2024

Accepted in revised 12/02/2024

Accepted 01/03/2024

Исследование факторов, влияющих на содержание токсичных веществ в дыме изделий из табака курительного тонкорезаного

Аннотация. В настоящее время на российском рынке представлен широкий ассортимент курительной табачной продукции. Наибольшим спросом пользуются сигареты. Однако, по многим причинам, в том числе из-за высокой отпускной цены вследствие роста акцизов, и из-за неудовлетворенности вкусовыми характеристиками потребление сигарет снижается. Происходит частичный переход потребителей на другие виды изделий, при этом табак курительный является альтернативным и очевидным выбором. Из табака курительного тонкорезаного потребители самостоятельно изготавливают изделия (самокрутки) типов Roll Your Own (RYO) без фильтра, оборачивая порцию табака специальной бумагой вручную, комбинируя различные сорта табака, используя различную бумагу, меняя массу табака и диаметр изделия, создавая продукт, отвечающий вкусовым предпочтениям. Учитывая, что никотин и смола несут токсическую нагрузку для организма потребителей актуальным является изучение содержания компонентов дыма изделий из табака курительного тонкорезаного (самокруток), которое может зависеть от множества факторов (масса изделия, диаметр изделия, свойства табака, свойства бумаги). В настоящей статье исследованы технологические свойства различных сортов табака: Вирджиния Голд, Берлей, Иммунный 580 и табачной смеси, изготовленной из этих сортов. Проанализирован состав бумаги для самокруток и ее воздухопроницаемость. Изучено влияние конструктивных свойств изделий на содержание в дыме токсичных соединений (смола, никотин). Экспериментально установлена корреляция между воздухопроницаемостью бумаги для самокруток и химическим составом дыма. Использование бумаги с низкой воздухопроницаемостью увеличивает содержание никотина и смол в дыме конечного продукта. Увеличение диаметра и массы изделия также приводит к увеличению содержания смол и никотина.

Ключевые слова: табак курительный, бумага для самокруток, воздухопроницаемость бумаги, химический состав, дым, никотин, смола, монооксид углерода.

Екатерина Ю. Смирнова аспирант, научный сотрудник, лаборатория стандартизации и качества, Федеральное Государственное Бюджетное Научное Учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий», ул. Московская, 42, г. Краснодар, 350042, Россия, katrinka.smirnova@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-9213-9656>

Евгений А. Бубнов к.т.н., ведущий научный сотрудник, лаборатория машинных агропромышленных технологий, Федеральное Государственное Бюджетное Научное Учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий», ул. Московская, 42, г. Краснодар, 350042, Россия, hookj@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4429-6440>

Евгения В. Гнучих д.т.н., зам. директора по научной работе и инновациям, Федеральное Государственное Бюджетное Научное Учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий», ул. Московская, 42, г. Краснодар, 350042, Россия, gnu20072007@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1565-3704>

Анатолий А. Славянский д.т.н, профессор, заведующий кафедрой, кафедра инновационных технологий продуктов из растительного сырья, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского, ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, mgutu-sahar@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0262-8841>

Исследование качественных показателей, функционально-технологических свойств изолятов растительного белка

Надежда В. Широкова	^{1,2}	nadya.shirockowa@ya.ru	 0000-0002-5607-3044
Андрей В. Шкуров	¹	shkurov.av@ahstep.ru	 0000-0002-5590-8628
Антон В. Трегубов	¹		 0009-0001-3061-3380
Анна А. Куц	²	nastaukuc1@mail.ru	 0009-0001-3061-3380

1 Донской государственный аграрный университет, ул. Кривошлыкова, 24, пос. Персиановский, 346493, Россия

2 Донской государственный технический университет, пл. Гагарина 1, г. Ростов на Дону, 1344003, Россия

Аннотация. В настоящее время в мире, в целом, найдены решения обеспечения населения дешевыми углеводами за счет массового производства злаковых культур, корнеплодов, а также жирами, получаемыми из масличных культур. Имеющаяся до настоящего момента проблема голода в отдельных частях планеты связана в большей степени не с недостаточным производством данных продуктов, а с неэффективным их распределением. Поступление белка в необходимых количествах требуется для полноценной работы мозга, иммунитета, высокого уровня работоспособности и выносливости. В данной статье представлены результаты определения ключевых функционально-технологических свойств – изолятов белка сои, гороха, подсолнечника и люпина при различных термических состояниях. В качестве исследуемых образцов использовались изоляты растительных белков производства РФ. Подсолнечный изолят уступал соевому и гороховому практически по всем параметрам, превосходя гороховый белок только по ГО способности. Данное свойство дает изоляту подсолнечного белка конкурентное преимущество перед гороховым в тех рецептурах, где растительный белок выполняет стабилизирующую функцию. Наихудшими функционально-технологическими свойствами из всех исследуемых белковых препаратов обладал изолят люпинового белка. Низкая влагосвязывающая способность и слабые гелеобразующие свойства позволяют применять его в рецептурах мясных колбасных изделий и полуфабрикатов только в сочетании с другими видами белков (например, соевым), либо с пищевыми добавками. В результате определено содержание белка, подтверждено наличие влагосвязывающей, жиросвязывающей, жирозмульгирующей, гелеобразующей способностей у исследуемых белковых препаратов, проведен сравнительный анализ показателей, предложены направления использования все исследуемые изоляты растительного белка обладают функционально-технологическими свойствами, позволяющими рассматривать их использование в рецептурах мясных колбасных изделий и полуфабрикатов.

Ключевые слова: изолят белка, функционально-технологические свойства, влагосвязывающая способность, жиросвязывающая способность, пенообразующая способность.

Study of quality indicators, functional and technological properties of vegetable protein isolates

Nadezhda V. Shirokova	^{1,2}	nadya.shirockowa@ya.ru	 0000-0002-5607-3044
Andrey V. Shkurov	¹	shkurov.av@ahstep.ru	 0000-0002-5590-8628
Anton V. Tregubov	¹		 0009-0001-3061-3380
Anna A. Kuts	²	nastaukuc1@mail.ru	 0009-0001-3061-3380

1 Don State Agrarian University, 24 Krivoshlykova str., village Persiansky, 346493, Russia

2 Don State Technical University, Gagarin Square 1, Rostov on Don, 1344003, Russia)

Abstract. Currently, in the world as a whole, solutions have been found to provide the population with cheap carbohydrates due to the mass production of cereals, root crops, as well as fats obtained from oilseeds. The current problem of hunger in some parts of the world is mostly related not to insufficient production of these products, but to their inefficient distribution. The intake of protein in the necessary quantities is required for the full functioning of the brain, immunity, a high level of performance and endurance. This article presents the results of determining the key functional and technological properties of soy, pea, sunflower and lupine protein isolates under various thermal conditions. Isolates of vegetable proteins produced in the Russian Federation were used as the studied samples. Sunflower isolate was inferior to soy and pea isolate in almost all parameters, surpassing pea protein only in its ability. This property gives sunflower protein isolate a competitive advantage over pea protein in those formulations where vegetable protein performs a stabilizing function. Lupin protein isolate had the worst functional and technological properties of all the studied protein preparations. Low moisture binding capacity and weak gelforming properties allow it to be used in formulations of meat sausages and semifinished products only in combination with other types of proteins (for example, soy), or with food additives. As a result, the protein content was determined, the presence of moisturebinding, fatbinding, fatemulsifying, gelforming abilities in the studied protein preparations was confirmed, a comparative analysis of the indicators was carried out, directions of use were proposed. All studied vegetable protein isolates have functional and technological properties that allow considering their use in formulations of meat sausages and semifinished products.

Keywords: protein isolate, functional and technological properties, moisture binding ability, fat binding ability, foaming ability.

Для цитирования

Широкова Н.В., Шкуров А.В., Трегубов А.В., Куц А.А. Исследование качественных показателей, функционально-технологических свойств изолятов растительного белка // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 201–206. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-201-206

For citation

Shirokova N.V., Shkurov A.V., Tregubov A.V., Kuts A.A. Study of quality indicators, functional and technological properties of vegetable protein isolates. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 201–206. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-201-206

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Постоянный рост народонаселения планеты ставит перед человечеством вопросы обеспечения людей всех стран качественной, доступной и полноценной пищей.

Потребительские тенденции развивающихся стран по мере роста благосостояния их граждан меняются не только в сторону увеличения объемов потребления продуктов питания, но и в сторону улучшения ежедневного рациона по качеству.

В настоящее время в мире, в целом, найдены решения обеспечения населения дешевыми углеводами за счет массового производства злаковых культур, корнеплодов, а также жирами, получаемыми из масличных культур. Имеющаяся до настоящего момента проблема голода в отдельных частях планеты связана в большей степени не с недостаточным производством данных продуктов, а с неэффективным их распределением.

В тоже время, до настоящего момента не полное свое решение имеет проблема обеспечения человечества доступным белком, так как для производства наиболее полноценного животного протеина требуется большое количество ресурсов. Вместе с тем белки являются ключевым элементом, обеспечивающим здоровое, эффективное и долгосрочное функционирование организма человека, снабжая его необходимым набором аминокислот для производства собственных белков и ферментов.

Поступление белка в необходимых количествах требуется для полноценной работы мозга, иммунитета, высокого уровня работоспособности и выносливости.

Таким образом, перед человечеством стоит проблема поиска альтернативных источников полноценного белка. В качестве одних из решений данной проблемы в развитых странах возникают стартапы по производству белка насекомых и культивируемого мяса. Однако массовому внедрению такого источника белка препятствует несформировавшиеся потребительские предпочтения.

Одним из направлений, определяющих инновационное развитие биотехнологий, является использование возобновляемых растительных ресурсов, развитие внутреннего спроса и импортозамещение биотехнологической продукции. Важнейшим приоритетом является распространение технологий, превращающих малоценные отходы в белковые продукты и компоненты с высокой добавленной стоимостью, в частности, использование растительных белков в пищевой промышленности.

Пищевая промышленность имеет положительный опыт производства и применения соевого белка, при балансировании которого животным белком можно получить продукты питания с необходимым набором и достаточным количественным содержанием аминокислот.

Распространив такой опыт на другие бобовые, бобовомасличные и масличные культуры, можно получить дополнительные источники растительного белка. Обогащая тем или иным образом такой белок недостающими аминокислотами, можно получать препараты и продукты питания с высокой пищевой ценностью.

В зависимости от содержания белка полученный продукт называется изолятом, если он содержит 90% и более белковых веществ. Если содержание составляет 65% 90%, продукт является концентратом, 50% 65% – белковой мукой.

Растительный белок, на основе которого производят продукты питания, должен удовлетворять показателям качества, определяемые составом, технологией, исходным сырьем. Исходное растительное сырье должно быть чистым и качественным. Влажность сырья должна удовлетворять условиям хранения, то есть должна быть достаточно низкой – не более 10%; зольность не должна превышать 810%; количество сырой клетчатки – 0,5% в случае белкового изолята и 56% для белковой муки и концентрата. При получении пищевых изолятов необходимо контролировать содержание ингибиторов трипсина, гемагглютина. Если продукт в дальнейшем будет проходить термообработку, необходимо дополнительно проанализировать питательную ценность изолята и влияние термообработки на изменение функциональных и органолептических свойств. В продуктах на основе растительных белков не должно содержаться тяжелых металлов в концентрациях, опасных для здоровья. Функциональные свойства белков отражают поведение белков в технологическом процессе получения пищевого продукта, а также консистенцию, структуру, влажность и другие характеристики самого продукта. К таким свойствам относят: органолептические и кинестетические (цвет, вкус, запах, зернистость, гладкость, мутность), растворимость, диспергируемость, вязкость, влажность, смачиваемость, эмульгирующая и пенообразующая способности, нелинейная вязкость растворов, способность к тестообразованию, желеобразованию, способность образовывать волокна, гели, термолабильность.

На функциональные свойства белковых продуктов влияют различные факторы: тип исходного сырья и его качество, условия проведения технологических процессов выделения, очистки, сушки и хранения сырья.

В ходе проведения технологических процессов на конечные свойства изолята влияют следующие факторы: температура, pH, давление, органические и неорганические экстрагенты.

В связи с этим, особенно важно строгое соблюдение технологического регламента. Воздействие данных факторов может приводить к разрушению и денатурации белков, образованию комплексных и даже токсичных соединений. Реализация процессов выделения и очистки в мягких условиях позволяет в значительной степени избежать негативного воздействия.

Наиболее перспективным для получения растительного протеина сырьем в РФ являются следующие культуры:

1) Подсолнечник и люпин – после удаления масла содержание белка в шроте превышает 50%.

2) Горох – как бобовая культура, горох изначально имеет относительно высокое содержание белка (в среднем 26% в семенах товарных партий), а также содержит в себе другой востребованный пищевой ингредиент – крахмал.

Подсолнечник и горох имеют массовое производство и большие посевные площади в РФ, а производство низко алкалоидных сортов люпина набирает популярность в Центрально-черноземном регионе.

Вместе с тем, до настоящего момента комплексное изучение функционально-технологических свойств белковых препаратов подсолнечника и гороха в сравнении с соевым белком, выполненное по одним и тем же методикам и в одной лаборатории, проведено не было.

Данный факт не позволяет объективно оценить потенциал данных культур.

Наиболее перспективным представляется использование растительных белков в индустрии мясных колбасных изделий и полуфабрикатов, ключевыми качественными показателями и функционально-технологическими свойствами которых являются:

- содержание белка на абсолютно сухое вещество – ключевой показатель, обуславливающий пищевую ценность белкового ингредиента при внесении его в рецептуры продуктов питания;

- влагосвязывающая способность – способность белковых препаратов при участии гидрофильных остатков аминокислот осуществлять адсорбцию воды. Выражается как отношение количества белка к количеству связываемой им воды;

- жиросвязывающая способность – способность белковых препаратов при участии гидрофобных остатков аминокислот осуществлять адсорбцию жира. Выражается как отношение количества белка к количеству связываемого им жира;

- жироземмулирующая способность – способность белков образовывать эмульсии за счет одновременного наличия гидрофильных и гидрофобных остатков аминокислот. В рамках данной статьи рассматриваются эмульсии «вода в масле». Жироземмулирующая способность выражается как соотношение количества белка к эмульгируемому им количеству воды и масла;

- гелеобразующая способность – свойство белков в коллоидных растворах образовывать пространственную сетку, которая удерживает в себе молекулы воды. В рамках настоящей статьи характеризуется отношением количества белка к максимальному количеству воды, при добавлении которого образуется прочный гель.

Материалы и методы

Объектами исследований являются изоляты белка сои, гороха, подсолнечника и люпина.

Массовую долю белка определяли по ГОСТ 1084691 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка», при этом коэффициент пересчета содержания азота на белок принимался равным 6,25 как для масличных культур.

Оценку жиросвязывающей, жироземмулирующей, гелеобразующей способностей у исследуемых белковых препаратов определяли при различных термических состояниях: без тепловой обработки (холодный способ) и с тепловой обработкой при температуре 80 °C (горячий способ).

При определении влагосвязывающей способности (ВСС) использовали метод, основанный на выделении жидкой фазы под действием центробежной силы из суспензий (белковый препарат + вода), находящихся в фиксированном положении, согласно ГОСТ 336922015.

Расчет ВСС осуществляли по формуле:

$$BCC(\%) = \frac{100 \cdot m_1 (m_2 - m_3)}{m_4},$$

где m_1 – масса воды в навеске, г; m_2 – масса выделившейся жидкости, г; m_3 – масса сухого остатка в выделившейся жидкости, г; m_4 – масса белкового препарата в навеске, г.

Определение жиросвязывающей способности (ЖСС) проводилось методом, основанный на выделении жировой фазы под действием центробежной силы из суспензий (белковый препарат + масло), находящихся в фиксированном положении, согласно ГОСТ 336922015.

Для расчета ЖСС использовали формулу:

$$JCC(\%) = \frac{100 \cdot m_1 (m_2 - m_3)}{m_4},$$

где m_1 – масса масла в навеске, г; m_2 – масса выделившегося масла, г; m_3 – масса белкового препарата в навеске, г.

Определение жирозмульгирующей способности (ЖЭС) заключалось в приготовлении эмульсии (вода + масло + белковый препарат) и под действием центробежной силы отделение жидкой фазы (воды или масла), согласно ГОСТ 336922015. Результат выражался в граммах воды и масла на 1 грамм белка.

Гелеобразующую способность (ГО) определяли согласно ГОСТ 336922015. Расчет гелеобразующая способность осуществлялся по формуле:

$$ГО(\%) = \frac{100 \cdot m_1}{m_2},$$

где m_1 – масса воды, г; m_2 – масса белкового препарата, г.

Результаты и обсуждение

Получены результаты основных функционально-технологических свойств белковых изолятов для обоснования использования их в индустрии мясных колбасных изделий. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Функционально-технологические свойства белковых изолятов

Table 1.

Functional and technological properties of protein isolates

Показатель Indicator	Изолят соевого белка Soy Protein Isolate	Изолят горохового белка Pea Protein Isolate	Изолят подсолнечного белка Sunflower Protein Isolate	Изолят люпинового белка Lupin Protein Isolate
Содержание белка на а.с.в.,%, не менее Protein content%, not less	90	85	90	90
BCC (XC),% WNC,%	680	433	334	250
BCC (ГC),% WNC,%	800	427	392	250
ЖСС (XC),% ZHSS,%	119,5	83	59	110
ЖСС (ГC),% ZHSS,%	119,6	78	57	104
ЖЭС (XC),% ZNES,%	1:7:7	1:5:5	1:4:4	1:3:3
ЖЭС (ГC),% ZNES,%	1:8:8	1:5:5	1:5:5	1:3:3
ГО (XC),% TH,%	600	250	300	200
ГО (ГC),% TH,%	600	300	400	150

Примечание: XC – холодный способ; ГC – горячий способ
Note: CM – cold method; HM – hot method

Наилучшими функционально-технологическими свойствами (BCC (XC И ГC) 680% и 800% соответственно, ЖСС (XC И ГC) 119,5% и 119,6% соответственно, ЖЭС (XC И ГC) 1:7:7 и 1:8:8 соответственно, ГО (XC И ГC) 600% и 600% соответственно) и содержанием белка (не менее 90%) ожидаемо обладает соевый изолят. Гороховый изолят имеет второе после соевого белка значение BCC – 433% (XC) и 427% (ГC). Влагосвязывающая способность является важнейшим показателем белка как пищевого ингредиента для производства мясных колбасных изделий и полуфабрикатов, так как она определяет возможную степень гидратации белкового препарата в рецептуре. При этом содержание белка в гороховом изоляте (не менее 85%) несколько уступало остальным рассматриваемым белкам, что, по видимому, связано с невозможностью полностью очистить гороховый изолят от крахмала в процессе производства. Кроме того, согласно общепринятой в отрасли классификации, белковый препарат с содержанием протеина менее 90% не может считаться изолятом, хотя для горохового белка как правило делаются исключения.

Подсолнечный изолят уступал соевому и гороховому практически по всем параметрам, превосходя гороховый белок только по ГО способности. Данное свойство дает изоляту

подсолнечного белка конкурентное преимущество перед гороховым в тех рецептурах, где растительный белок выполняет стабилизирующую функцию.

Наихудшими функционально-технологическими свойствами из всех исследуемых белковых препаратов обладал изолят люпинового белка. Низкая влагосвязывающая способность и слабые гелеобразующие свойства позволяют применять его в рецептурах мясных колбасных изделий и полуфабрикатов только в сочетании с другими видами белков (например, соевым), либо с пищевыми добавками.

Заключение

Все исследуемые изоляты растительного белка обладают функционально-технологическими свойствами, позволяющими рассматривать их использование в рецептурах мясных колбасных изделий и полуфабрикатов.

Для повышения экономической эффективности применения белковых препаратов гороха, подсолнечника и люпина представляется целесообразным разработать технологии модификации их функционально-технологических свойств (в первую очередь влагосвязывающей, жирозмульгирующей и гелеобразующей способностей) с целью доведения их до показателей соевого белка.

Литература

- 1 Широкова Н.В., Сердюкова Я.П., Казарова И.Г. Использование растительного сырья при производстве рубленых полуфабрикатов в оболочке // Научная жизнь. 2020. Т. 15. № 3(103). С. 408415. doi: 10.35679/199194762020153408415
- 2 АльСухайми С.А., Тошев А.Д., Андросова Н.В. Исследование качественных показателей хлебобулочных изделий функциональной направленности с добавлением продуктов переработки растительного сырья // Вестник КрасГАУ. 2022. №. 8 (185). С. 180-186. doi: 10.36718/1819403620228180186
- 3 El-Sohaimy S.A., Androsova N.V., Toshev A.D., El Enshasy H.A. Nutritional quality, chemical, and functional characteristics of hemp (*Cannabis sativa* ssp. *sativa*) protein Isolate // Plants. 2022. V. 11. №. 21. P. 2825. doi: 10.3390/plants11212825
- 4 Phillips C.J.C., Hosseintabar-Ghasemabad B., Gorlov I.F., Slozhenkina M.I. et al. Immunomodulatory effects of natural feed additives for meat chickens // Life. 2023. V. 13. №. 6. P. 1287. doi: 10.3390/life13061287
- 5 Merenkova S.P., Zinina O.V., Stuart M. et al. Effects of dietary fiber on human health: A review // Human. Sport. Medicine. 2020. V. 20. №. 1. P. 106113. doi: 10.14529/hsm200113
- 6 Adam C.L., Gratz S.W., Peinado D.I. et al. Effects of Dietary Fibre (Pectin) and/or Increased Protein (Casein or Pea) on Satiety, Body Weight, Adiposity and Caecal Fermentation in High Fat DietInduced Obese Rats // PLOS ONE. 2016. V. 11. №. 5. P. e0155871. doi: 10.1371/journal.pone.0155871
- 7 Camerotto C., Cupisti A., D'Alessandro C. et al. Dietary Fiber and Gut Microbiota in Renal Diets // Nutrients. 2019. V. 11. P. 2149. doi: 10.3390/nu11092149
- 8 Широкова Н.В., Казарова И.Г., Малолетова Ю.Р. Разработка технологии колбасного изделия из мяса баранины с использованием растительного сырья // Научная жизнь. 2022. Т. 17. № 5(125). С. 805812. doi: 10.35679/199194762022175805812
- 9 Krochmal-Marczak B., Tobiasz-Salach R., Kaszuba J. The effect of adding oat flour on the nutritional and sensory quality of wheat bread // British Food Journal. 2020. V. 122. №. 7. P. 2329-2339. doi: 10.1108/BFJ0720190493
- 10 Huang G., Guo Q., Wang C., Ding H.H. et al. Fenugreek fibre in bread: Effects on dough development and bread quality // LWT Food Science and Technology. 2016. V. 71. P. 274280. doi: 10.1016/j.lwt.2016.03.040
- 11 Branch S., Maria S. Evaluation of the functional properties of mung bean protein isolate for development of textured vegetable protein // International Food Research Journal. 2017. V. 24. №. 4. P. 1595-1605.
- 12 Ochoa-Rivas A., Nava-Valdez Y., Serna-Saldivar S.O., Chuck-Hernández C. Microwave and ultrasound to enhance protein extraction from peanut flour under alkaline conditions: Effects in yield and functional properties of protein isolates // Food and Bioprocess Technology. 2017. V. 10. P. 543-555.
- 13 Elsohaimy S.A., Refaay T.M., Zaytoun M.A.M. Physicochemical and functional properties of quinoa protein isolate // Annals of Agricultural Sciences. 2015. V. 60. №. 2. P. 297-305.
- 14 Jarpa-Parra M. Lentil protein: A review of functional properties and food application. An overview of lentil protein functionality // International Journal of Food Science & Technology. 2018. V. 53. №. 4. P. 892-903. doi: 10.1111/ijfs.13685
- 15 Akharume F.U., Aluko R.E., Adedeji A.A. Modification of plant proteins for improved functionality: A review // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2021. V. 20. №. 1. P. 198-224. doi: 10.1111/1541-4337.12688
- 16 Timilsena Y.P., Adhikari R., Barrow C.J., Adhikari B. Physicochemical and functional properties of protein isolate produced from Australian chia seeds // Food chemistry. 2016. V. 212. P. 648-656.
- 17 Wani I.A., Sogi D.S., Shivhare U.S., Gill B.S. Physico-chemical and functional properties of native and hydrolyzed kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) protein isolates // Food research international. 2015. V. 76. P. 11-18.
- 18 He X.H., Liu H.Z., Liu L., Zhao G.L. et al. Effects of high pressure on the physicochemical and functional properties of peanut protein isolates // Food Hydrocolloids. 2014. V. 36. P. 123-129.
- 19 Kaushik P., Dowling K., McKnight S., Barrow C.J. et al. Preparation, characterization and functional properties of flax seed protein isolate // Food chemistry. 2016. V. 197. P. 212-220.
- 20 Shevkani K., Singh N., Kaur A., Rana J.C. Structural and functional characterization of kidney bean and field pea protein isolates: A comparative study // Food Hydrocolloids. 2015. V. 43. P. 679-689.

References

- 1 Shirokova N.V., Serdyukova Ya.P., Kazarova I.G. The use of plant raw materials in the production of chopped semi-finished products in a shell. Scientific life. 2020. vol. 15. no. 3(103). pp. 408415. doi: 10.35679/199194762020153408415 (in Russian).
- 2 AlSuhaimi S.A., Toshev A.D., Androsova N.V. Research of quality indicators of functional bakery products with the addition of processed vegetable raw materials. Bulletin of KrasGAU. 2022. no. 8 (185). pp. 180-186. doi: 10.36718/1819403620228180186 (in Russian).
- 3 El-Sohaimy S.A., Androsova N.V., Toshev A.D., El Enshasy H.A. Nutritional quality, chemical, and functional characteristics of hemp (*Cannabis sativa* ssp. *sativa*) protein Isolate. Plants. 2022. vol. 11. no. 21. pp. 2825. doi: 10.3390/plants11212825
- 4 Phillips C.J.C., Hosseintabar-Ghasemabad B., Gorlov I.F., Slozhenkina M.I. et al. Immunomodulatory effects of natural feed additives for meat chickens. Life. 2023. vol. 13. no. 6. pp. 1287. doi: 10.3390/life13061287
- 5 Merenkova S.P., Zinina O.V., Stuart M. et al. Effects of dietary fiber on human health: A review. Human. Sport. Medicine. 2020. vol. 20. no. 1. pp. 106113. doi: 10.14529/hsm200113
- 6 Adam C.L., Gratz S.W., Peinado D.I. et al. Effects of Dietary Fibre (Pectin) and/or Increased Protein (Casein or Pea) on Satiety, Body Weight, Adiposity and Caecal Fermentation in High Fat DietInduced Obese Rats. PLOS ONE. 2016. vol. 11. no. 5. pp. e0155871. doi: 10.1371/journal.pone.0155871
- 7 Camerotto C., Cupisti A., D'Alessandro C. et al. Dietary Fiber and Gut Microbiota in Renal Diets. Nutrients. 2019. vol. 11. pp. 2149. doi: 10.3390/nu11092149
- 8 Широкова Н.В., Казарова И.Г., Малолетова Ю.Р. Development of technology for sausage products from lamb meat using vegetable raw materials. Scientific life. 2022. vol. 17. no. 5(125). pp. 805812. doi: 10.35679/199194762022175805812 (in Russian).
- 9 Krochmal-Marczak B., Tobiasz-Salach R., Kaszuba J. The effect of adding oat flour on the nutritional and sensory quality of wheat bread. British Food Journal. 2020. vol. 122. no. 7. pp. 2329-2339. doi: 10.1108/BFJ0720190493

- 10 Huang G., Guo Q., Wang C., Ding H.H. et al. Fenugreek fibre in bread: Effects on dough development and bread quality. *LWT Food Science and Technology*. 2016. vol. 71. pp. 274280. doi: 10.1016/j.lwt.2016.03.040
- 11 Branch S., Maria S. Evaluation of the functional properties of mung bean protein isolate for development of textured vegetable protein. *International Food Research Journal*. 2017. vol. 24. no. 4. pp. 1595-1605.
- 12 Ochoa-Rivas A., Nava-Valdez Y., Serna-Saldívar S.O., Chuck-Hernández C. Microwave and ultrasound to enhance protein extraction from peanut flour under alkaline conditions: Effects in yield and functional properties of protein isolates. *Food and Bioprocess Technology*. 2017. vol. 10. pp. 543-555.
- 13 Elsohaimy S.A., Refaay T.M., Zaytoun M.A.M. Physicochemical and functional properties of quinoa protein isolate. *Annals of Agricultural Sciences*. 2015. vol. 60. no. 2. pp. 297-305.
- 14 Jarpa-Parra M. Lentil protein: A review of functional properties and food application. An overview of lentil protein functionality. *International Journal of Food Science & Technology*. 2018. vol. 53. no. 4. pp. 892-903. doi: 10.1111/ijfs.13685
- 15 Akharume F.U., Aluko R.E., Adedeji A.A. Modification of plant proteins for improved functionality: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2021. vol. 20. no. 1. pp. 198-224. doi: 10.1111/1541-4337.12688
- 16 Timilsena Y.P., Adhikari R., Barrow C.J., Adhikari B. Physicochemical and functional properties of protein isolate produced from Australian chia seeds. *Food chemistry*. 2016. vol. 212. pp. 648-656.
- 17 Wani I.A., Sogi D.S., Shivhare U.S., Gill B.S. Physico-chemical and functional properties of native and hydrolyzed kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) protein isolates. *Food research international*. 2015. vol. 76. pp. 11-18.
- 18 He X.H., Liu H.Z., Liu L., Zhao G.L. et al. Effects of high pressure on the physicochemical and functional properties of peanut protein isolates. *Food Hydrocolloids*. 2014. vol. 36. pp. 123-129.
- 19 Kaushik P., Dowling K., McKnight S., Barrow C.J. et al. Preparation, characterization and functional properties of flax seed protein isolate. *Food chemistry*. 2016. vol. 197. pp. 212-220.
- 20 Shevkani K., Singh N., Kaur A., Rana J.C. Structural and functional characterization of kidney bean and field pea protein isolates: A comparative study. *Food Hydrocolloids*. 2015. vol. 43. pp. 679-689.

Сведения об авторах

Надежда В. Широкова д.б.н., доцент, кафедра пищевых технологий, Донской государственный аграрный университет, ул. Кривошлыкова, 24, пос. Персиановский, 346493, Россия, nadya.shirokova@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5607-3044>

Андрей В. Шкуров аспирант, кафедра пищевых технологий, Донской государственный аграрный университет, ул. Кривошлыкова, 24, пос. Персиановский, 346493, Россия, shkurov.av@ahstep.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5590-8628>

Антон В. Трегубов к.э.н., инженер, кафедра пищевых технологий, Донской государственный аграрный университет, ул. Кривошлыкова, 24, пос. Персиановский, 346493, Россия

 <https://orcid.org/0009-0001-3061-3380>

Анна А. Куц студент, кафедра техники и технологии пищевых производств, Донской государственный технический университет, пл. Гагарина 1, г. Ростов на Дону, 1344003, Россия, nastaukuc1@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0001-3061-3380>

Вклад авторов

Надежда В. Широкова предложила методику проведения эксперимента

Андрей В. Шкуров обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты

Антон В. Трегубов консультация в ходе исследования

Анна А. Куц написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Nadezhda V. Shirokova Dr. Sci. (Biol.), associate professor, food technologies department, Don State Agrarian University, Krivoshlykov str., 24, pos. Persianovsky, 346493, Russia, nadya.shirokova@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5607-3044>

Andrey V. Shkurov graduate student, food technologies department, Don State Agrarian University, Krivoshlykov str., 24, pos. Persianovsky, 346493, Russia, shkurov.av@ahstep.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5590-8628>

Anton V. Tregubov Cand. Sci. (Econ.), engineer, food technologies department, Don State Agrarian University, Krivoshlykov str., 24, pos. Persianovsky, 346493, Russia

 <https://orcid.org/0009-0001-3061-3380>

Anna A. Kuts student, food production engineering and technology department, Don State Technical University, Gagarin Square 1, Rostov on Don, 1344003, Russia, nastaukuc1@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0001-3061-3380>

Contribution

Nadezhda V. Shirokova proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Andrey V. Shkurov review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Anton V. Tregubov consultation during the study

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 17/01/2024	После редакции 08/02/2024	Принята в печать 26/02/2024
Received 17/01/2024	Accepted in revised 08/02/2024	Accepted 26/02/2024

Влияние растительных ингредиентов на качество сухих рыборастительных пищевых концентратов

Светлана В. Золотокопова	¹	zolotokopova@mail.ru	 0000-0002-2146-5443
Ибрахим Корома	¹	ibrahimkoroma@yandex.ru	 0009-0002-4830-0793
Анастасия А. Неваленная	¹	nasty_n92@rambler.ru	 0000-0002-8701-9171
Александр И. Миронов	²	mirono011995@gmail.com	 0009-0004-7471-0176

1 Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, 16, г. Астрахань, 414056, Россия

2 Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, 16, г. Астрахань, 414056, Россия)

Аннотация. Актуальным вопросом является обеспечение населения Сьерра-Леоне полноценными продуктами питания для поддержания их здоровья. В статье представлены результаты оценки влияния растительных ингредиентов на качество рыборастительных пищевых концентратов, полученных по технологии конвективной сушки при температуре 110–120 °С, для сравнения были взяты пищевые концентраты из сардинеллы, полученные нами по аналогичной технологии. Высушенный рыборастительный фарш измельчали на мельнице до порошкообразного состояния. Пищевые концентраты представляют собой мелкодисперсный порошок от бежевого до оранжевого цвета в зависимости от используемых ингредиентов при приготовлении. в рыбном и рыборастительном пищевом концентрате по сравнению со свежей рыбой почти в 5 раз увеличивается количество белка, в рыборастительном пищевом концентрате по сравнению с рыбным, больше минеральных элементов. Было проведено сравнение пищевой ценности и органолептических показателей рыбных пищевых концентратов из сардинеллы и рыборастительных пищевых концентратов с добавлением моркови и кукурузной муки. Для сравнения пищевой ценности полученных пищевых концентратов определяли белки, жиры и минеральные вещества общепринятыми методами. По результатам оценки пищевой ценности установлено, что за счет добавления в пищевую концентрат растительных ингредиентов (морковь, бабия, кукурузная мука) в продукте увеличивается количество пищевых волокон, каротина, витаминов группы В, РР, Е С и микроэлементов К, Са, Fe, Р, что обеспечивает комплексное поступление в организм необходимых макро- и микронутриентов. Полученные пищевые концентраты можно использовать для изготовления супов и соусов.

Ключевые слова: пищевые концентраты, пищевая ценность, органолептические показатели.

The effect of vegetable plant ingredients on the quality of dry fish-vegetable food concentrates

Svetlana V. Zolotokopova	¹	zolotokopova@mail.ru	 0000-0002-2146-5443
Ibrahim Koroma	¹	ibrahimkoroma@yandex.ru	 0009-0002-4830-0793
Anastasia A. Nevalennaya	¹	nasty_n92@rambler.ru	 0000-0002-8701-9171
Alexander I. Mironov	²	mirono011995@gmail.com	 0009-0004-7471-0176

1 Astrakhan State Technical University, 16 Tatishcheva Str., Astrakhan, 414056, Russia

2 Astrakhan State Technical University, 16 Tatishcheva Str., Astrakhan, 414056, Russia)

Abstract. An urgent issue is to provide the population of Sierra Leone with high-grade food to maintain their health. The article presents the results of assessing the effect of vegetable plant ingredients on the quality of fish-vegetable food concentrates obtained using convective drying technology at a temperature of 110–120 °C; food concentrates from sardinella fish, obtained by us using a similar technology were taken for comparison. Dried minced fish was ground in a mill to a powdery state. Food concentrates are fine a powder ranging in colour from beige to orange depending on the ingredients used in its preparation. In fish and fish-vegetable food concentrate, compared to fresh fish, the amount of protein increases almost 5 times, in fish-vegetable food concentrate, compared to fish, there are more mineral elements. A comparison was made of the nutritional value and organoleptic characteristics of fish food concentrates from sardinella and fish – vegetable food concentrates with the addition of carrots and corn flour. To compare the nutritional value of the resulting food concentrates, proteins, fats and minerals were determined using generally accepted methods. Based on the results of assessing the nutritional value, it was found that by adding vegetable plants ingredients (carrots, okra, corn flour) to the food concentrate, the amount of dietary fiber, carotene, vitamins B, PP, E C and trace elements K, Ca, Fe, P, increases in the product, which ensures a comprehensive supply of essential macro – and micronutrients to the body. The resulting food concentrates can be used to make soups and sauces.

Keywords: fish-vegetable plant, food concentrates, nutritional value, organoleptic indicators.

Введение

Сухие пищевые концентраты играют важную роль в обеспечении населения необходимыми макро- и микронутриентами в сложных условиях проживания. Важную роль играет сбалансированность этих концентратов по важнейшим пищевым веществам.

По международным исследованиям в Сьерра-Леоне в питании выявлен недостаток белка, витамина А и железа [1]. В связи с этим мы предлагаем использовать сухие пищевые рыборастительные концентраты для приготовления соусов и супов, таким образом обогащая рационы питания [2].

Для цитирования

Золотокопова С.В., Корома И., Неваленная А.А., Миронов А.И. Влияние растительных ингредиентов на качество сухих рыборастительных пищевых концентратов // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 207–211. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-207-211

For citation

Zolotokopova S.V., Koroma I., Nevalennaya A.A., Mironov A.I. The effect of vegetable plant ingredients on the quality of dry fish-vegetable food concentrates. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 207–211. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-207-211

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Растения, выращиваемые в Сьерра-Леоне, такие как кукуруза, морковь, бамя содержат витамины группы В, натуральные антиоксиданты, углеводы, полезные для мозга [12, 15] и для организма в целом [14].

Морская рыба содержит белок и полиненасыщенные жирные кислоты, которые положительно влияют на сердечно-сосудистую систему человека [13, 15]. Наиболее распространенным видом среди вылавливаемых видов рыб, является сардинелла, которая в Сьерра-Леоне относится к высокобелковым рыбам с низкой жирностью [1, 2]. Добавляя в пищевые концентраты растительные компоненты, мы не только обогащаем их макро- и микронутриентами, но и улучшаем структуру продукта [4, 6] и его функционально-технологические свойства [7]. Учеными постоянно совершенствуется технология получения сухих продуктов [3, 5]

Мы разработали оптимальные режимы получения рыборастворительных сухих пищевых концентратов [8, 10].

Цель работы – определение влияния растительных ингредиентов на такие показатели качества как пищевая ценность и органолептические показатели сухих пищевых концентратов.

Материалы и методы

Объектом исследования были рыборастворительные пищевые концентраты, полученные нами при конвективной сушке при температуре 110–120 °С [1], для сравнения были взяты пищевые концентраты из сардинеллы, полученные нами по аналогичной технологии. Пищевые концентраты представляют собой порошок от бежевого

до оранжевого цвета в зависимости от используемых ингредиентов при приготовлении.

Образцы были приготовлены следующим образом: рыбу мыли, разделяли на филе. Морковь мыли, очищали от кожуры, резали на кусочки, бамию мыли, кукурузную муку просеивали. Все ингредиенты измельчали в мясорубке и сушили рыборастворительный фарш при температуре 110–120 °С. Высушенный рыборастворительный фарш измельчали на мельнице до порошкообразного состояния.

Отбор проб рыбного фарша и готового продукта проведен по ГОСТ 7636–85, готовой продукции – по ГОСТ Р 54607.1–2011. Изучение органолептических показателей качества проведено по ГОСТ 7631–2008. Количество жира в объектах исследования определяли методом Сокслета, рыбного фарша – по ГОСТ 7636–85, готовой продукции – по ГОСТ Р 54607.5–2015, количество белка – методом Кьельдаля ГОСТ Р 54607.7–2016, количество минеральных веществ – методом озоления по ГОСТ Р 54607.10–2017, количество влаги – методом высушивания по ГОСТ 7636–85. Для оценки растительных ингредиентов на органолептические показатели рыборастворительных сухих пищевых концентратов применяли балльно-профильный метод анализа. Витаминный и микроэлементный состав сравнивали расчетным методом по справочнику под ред. Скурихина [11].

Результаты и обсуждение

Рыборастворительные сухие пищевые концентраты получали по схеме, представленной на рисунке 1.

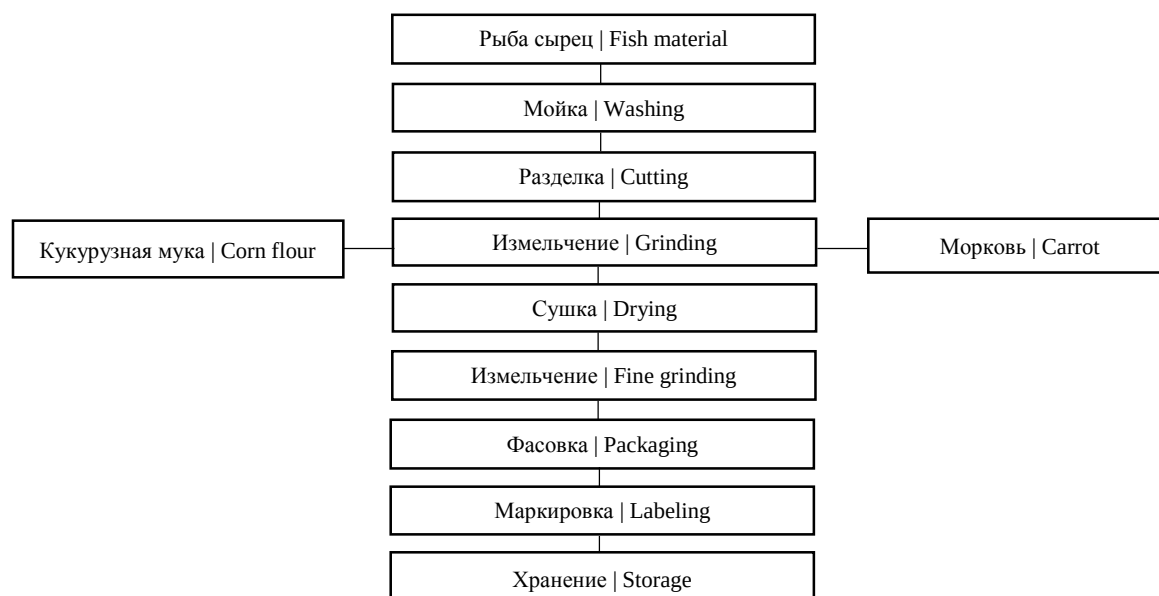


Рисунок 1. Схема получения пищевого рыборастворительного концентрата.

Figure1. Scheme for obtaining edible fish vegetable concentrate

По сравнению с традиционной технологией получения пищевых рыбных концентратов, мы исключили процесс варки рыбы, для уменьшения потерь водорастворимых белков.

Рецептура рыборастворительного пищевого концентрата представлена в таблице 1, в качестве контроля был взят пищевой концентрат из сардинеллы, приготовленный по аналогичной технологии.

Таблица 1.

Рецептура пищевого концентрата, г на 100 г

Table 1.

Recipe for food concentrate, g per 100 g

Компоненты Components	Рыбный пищевой концентрат Fish food concentrate	Рыборастворительный пищевой концентрат Fishvegetable food cocncentrate
Сардинелла филе Sardinella fillet	100	70
Морковь Carrots	-	10
Бамя Okra		10
Кукурузная мука Corn flour	-	10
Масса фарша Weight of minced meat	100	100
Масса после сушки Weight after drying	7,3	7,5

Для определения влияния растительных ингредиентов на пищевую ценность были определены основные макронутриенты в свежей рыбе, в рыбном и рыборастворительном пищевом концентрате. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Химический состав рыбного филе и сухого пищевого концентрата, %

Table 2.

Chemical composition of fish fillet and dry food concentrate, %

Образец Sample	Содержание, %			
	Вода water	Белок Protein	Жир Fat	Зола Ash
Сардинелла свежая филе Fresh sardinella fillet	75,3 ± 0,9	17,1 ± 0,2	0,9 ± 0,1	1,2 ± 0,01
Рыбный пищевой концентрат Fish food concentrate	7,3 ± 0,2	79,7 ± 0,7	1,7 ± 0,3	1,5 ± 0,02
Рыборастворительный пищевой концентрат Fish vegetable food concentrate	7,5 ± 0,1	77,1 ± 0,5	1,5 ± 0,2	1,7 ± 0,05

Из таблицы видно, что в рыбном и рыборастворительном пищевом концентрате по сравнению со свежей рыбой почти в 5 раз увеличивается количество белка, в рыборастворительном пищевом концентрате по сравнению с рыбным, больше минеральных элементов.

Влияние на пищевую и биологическую ценность пищевого концентрата растительных ингредиентов до высушивания определяли расчетным методом. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Пищевая и биологическая ценность пищевых концентратов

Table 3.

Nutritional and biological value of food concentrates

Показатель Indicators	Рецептура 1 Recipe i	Рецептура 2 Recipe 2
Белки, г/protein, g	14,8	15,63
Жиры, г/Fat,g	0,7	0,9
Углеводы, г/carbohydrates,g	-	7,9
Пищевые волокна, г/Dietary fiber,g	-	0,6
Зола, г/Ash,g	1,12	1,3
Вода, г/Water,g	63,4	73,6
β-каротин, мг/ β-carotene, mg	-	0,9
В1, мг/B1 mg	0,016	0,051
В2, мг/B2 mg	-	0,02
В4, мг/B4 mg	52	53,74
РР, мг/PP, mg	4,48	4,89
Е, мг/E, mg	-	0,123
С, мг/C, mg	1,12	1,62
К, мг/K,mg	268	302,7
Са, мг/mg	32	39,1
Fe, мг/Fe,mg	0,56	0,9
Р, мг/P,mg	168	184,1

За счет добавления в рыбный пищевой концентрат растительных ингредиентов (морковь, бамя и кукурузная мука) в продукте увеличивается количество пищевых волокон, каротина, витаминов группы В, РР, Е, С и микроэлементов К, Са, Fe, Р, что обеспечивает комплексное поступление в организм необходимых макро- и микронутриентов.

Были оценены органолептические показатели полученных рыбных и рыборастворительных пищевых концентратов. Результаты представлены в таблице 4.

При оценке органолептических показателей видно, что растительные ингредиенты маскируют вкус и аромат рыбы, а также придают приятный цвет.

Таблица 4.

Органолептические показатели сухих пищевых концентратов

Table 4.

Organoleptic characteristics of dry food concentrates

Показатели Indicators	Рыбный пищевой концентрат Fish food concentrate	Рыборастительный пищевой концентрат Fishvegetable food concentrate
Внешний вид Appearance	Мелкодисперсный однородный порошок Fine homogenous powder	Мелкодисперсный однородный порошок Fine homogenous powder
Цвет Colour	Светло – бежевый Light-beige	светло-оранжевый Light-orange
Аромат Aroma	Рыбный fish	сбалансированный с легким ароматом рыбы balanced with light fishy aroma
Вкус Taste	Сушеной рыбы dried fish	Вкус приятный, с незначительным привкусом рыбы Taste is pleasant, slight aftertaste of fish

Закключение

В результате проведенных исследований по изучению влияния растительных ингредиентов на пищевую ценность сухих рыборастительных пищевых концентратов было выявлено, что по сравнению со свежим филе сардинеллы в сухих пищевых концентратах количество белка увеличивается практически в 5 раз, а счет использования растительных ингредиентов в продукте увеличивается количество пищевых волокон, каротина, витаминов группы В, РР, Е, С и микроэлементов К, Са, Fe, Р, что обеспечивает комплексное поступление в организм необходимых макро- и микронутриентов. Растительные ингредиенты улучшают органолептические показатели рыбных пищевых концентратов, маскируя рыбный вкус и аромат. Полученные пищевые концентраты можно использовать для изготовления супов и соусов.

Литература

- Игнатова Т.А., Строкова Н.Г., Семикова Н.В., Родина Т.В. Научные основы использования макруруса, ставриды и сардинеллы в технологии пищевых продуктов // Труды ВНИРО. 2021. Т.183. С. 149–162.
- Кором И., Золотокопова С.В. Значение рыбных ресурсов в питании населения Сьерра-Леоне // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2022. №. 1 (73). С. 30-36.
- Максименко Ю.А., Свирина С.А., Бахарева А.А., Грозеску Ю.Н. Исследование удельной теплоемкости жидких и пастообразных растительных материалов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2022. № 1. С. 121–128.
- Муханова М.А., Якубова О.С. Экономический потенциал переработки вторичных рыбных ресурсов на соусную продукцию // Наука и практика-2021. 2021. С. 238-239.
- Фатыхов Ю.А., Агеев О.В., Сулов А.Э., Иванова Е.Е. и др. Совершенствование технологии и оборудования для получения костной рыбной добавки // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2022. № 1 (385). С. 72–76.
- Скрипко О.В. Использование продуктов переработки сои в рецептуре пищевых концентратов // Приднепровский научный вестник. 2019. Т. 1. № 2. С. 066–069.
- Золотокопова С.В., Касьянов Г.И., Золотокопов А.В., Лебедева Е.Ю. Функционально-технологические свойства рыборастительного фарша // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2020. № 4. С. 44–47.
- Золотокопова С.В., Кором И. Технологические основы приготовления сухой основы для рыбных супов и соусов // В сборнике: Наука и практика – 2022. Материалы Всероссийской междисциплинарной научной конференции. Астрахань, 2022. С. 95–96.
- Dari D.W., Astawan M., Suseno S.H. Characteristics of sardin fish oil (*Sardinella* sp.) resulted from stratified purification // Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia. 2017. V. 20. № 3. P. 456-467.
- Золотокопова С. В., Кором И., Неваленная А.А., Лебедева Е.Ю. Влияние растительных компонентов на микробиологические и окислительные процессы в сухих рыборастительных продуктах при хранении // Новые технологии. 2023. Т. 19. №. 4. С. 91-96.
- Wirth J.P., Rohner F., Woodruff B.A., Chiwile F. et al. Anemia, micronutrient deficiencies, and malaria in children and women in Sierra Leone prior to the Ebola outbreak-findings of a cross-sectional study // PloS one. 2016. V. 11. №. 5. P. e0155031. doi: 10.1371/journal.pone.0155031
- Kennedy D.O. B vitamins and the brain: mechanisms, dose and efficacy—a review // Nutrients. 2016. V. 8. №. 2. P. 68.
- Dighriri I.M., Alsubaie A.M., Hakami F.M., Hamithi D.M. et al. Effects of omega-3 polyunsaturated fatty acids on brain functions: a systematic review // Cureus. 2022. V. 14. №. 10.
- Lee K.H., Cha M., Lee B.H. Neuroprotective effect of antioxidants in the brain // International journal of molecular sciences. 2020. V. 21. №. 19. P. 7152.
- Journel M., Chaumontet C., Darcel N., Fromentin G. et al. Brain responses to high-protein diets // Advances in nutrition. 2012. V. 3. №. 3. P. 322-329.
- Gvinianidze T.N., Margvelashvili E.G. Technology for the production of food concentrate from grapes and rose hips // Trajectories of Technological Development. 2022. V. 1. № 1. P. 17–24
- Ben Khaled H., Ktari N., Ghorbel-Bellaaj O., Jridi M. et al. Composition, functional properties and in vitro antioxidant activity of protein hydrolysates prepared from sardinelle (*Sardinella aurita*) muscle // Journal of Food Science and Technology. 2014. V. 51. P. 622-633. doi: 10.1007/s13197-011-0544-4
- Chakraborty K., Joseph D., Joseph D. Concentration and stabilization of C20–22 n-3 polyunsaturated fatty acid esters from the oil of *Sardinella longiceps* // Food chemistry. 2016. V. 199. P. 828-837.
- Tambunan J.E., Ibrahim B., Suseno S.H. Improved quality of sardines oil (*Sardinella* sp.) using centrifugation // Global Journal of Biology, Agriculture and Health Science. 2014. V. 2. №. 4. P. 196-202.
- Budhi S., Noorhalisah F., Khadijah S.T., Brillyana S. Protein and calcium concentrate quality of Chacunda Gizzard Scad (*Anodontostoma chacunda*), Silver Rasbora (*Rasbora argyroteenia*), Bali Sardinella (*Sardinella lemuru*) // Journal of Food and Nutrition Sciences. 2023. V. 11. №. 6. P. 161-165.

References

- Ignatova T.A., Strokova N.G., Semikova N.V., Rodina T.V. Scientific basis for the use of grenadier, horse mackerel and sardinella in food technology. Proceedings of VNIRO. 2021. V.183. pp. 149–162. (in Russian).
- Koroma I., Zolotokopova S.V. The importance of fish resources in the nutrition of the population of Sierra Leone. Oil and gas technologies and environmental safety. 2022. no. 1 (73). pp. 30-36. (in Russian).

- 3 Maksimenko Yu.A., Svirina S.A., Bakhareva A.A., Grozescu Yu.N. Study of the specific heat capacity of liquid and paste-like plant materials. Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex – healthy food products. 2022. no. 1. pp. 121–128. (in Russian).
- 4 Mukhanova M.A., Yakubova O.S. Economic potential of processing secondary fish resources into sauce products. Science and practice-2021. 2021. pp. 238-239. (in Russian).
- 5 Fatykhov Yu.A., Ageev O.V., Suslov A.E., Ivanova E.E. et al. Improving technology and equipment for obtaining bone fish additives. News of higher educational institutions. Food technology. 2022. no. 1 (385). pp. 72–76. (in Russian).
- 6 Skripko O.V. Use of soybean processing products in the formulation of food concentrates. Pridneprovsky Scientific Bulletin. 2019. vol. 1. no. 2. pp. 066–069. (in Russian).
- 7 Zolotokopova S.V., Kasyanov G.I., Zolotokopov A.V., Lebedeva E.Yu. Functional and technological properties of minced fish and vegetables. News of higher educational institutions. Food technology. 2020. no. 4. pp. 44–47. (in Russian).
- 8 Zolotokopova S.V., Koroma I. Technological bases for preparing dry base for fish soups and sauces. In the collection: Science and Practice - 2022. Materials of the All-Russian Interdisciplinary Scientific Conference. Astrakhan, 2022. pp. 95–96. (in Russian).
- 9 Dari D.W., Astawan M., Suseno S.H. Characteristics of sardin fish oil (*Sardinella* sp.) resulted from stratified purification. Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia. 2017. vol. 20. no. 3. pp. 456-467.
- 10 Zolotokopova S.V., Koroma I., Nevalennaya A.A., Lebedeva E.Yu. The influence of plant components on microbiological and oxidative processes in dry fish and plant products during storage. New technologies. 2023. vol. 19. no. 4. pp. 91-96. (in Russian).
- 11 Wirth J.P., Rohrer F., Woodruff B.A., Chiwile F. et al. Anemia, micronutrient deficiencies, and malaria in children and women in Sierra Leone prior to the Ebola outbreak-findings of a cross-sectional study. PloS one. 2016. vol. 11. no. 5. pp. e0155031. doi: 10.1371/journal.pone.0155031
- 12 Kennedy D.O. B vitamins and the brain: mechanisms, dose and efficacy—a review. Nutrients. 2016. vol. 8. no. 2. pp. 68.
- 13 Dighriri I.M., Alsubaie A.M., Hakami F.M., Hamithi D.M. et al. Effects of omega-3 polyunsaturated fatty acids on brain functions: a systematic review. Cureus. 2022. vol. 14. no. 10.
- 14 Lee K.H., Cha M., Lee B.H. Neuroprotective effect of antioxidants in the brain. International journal of molecular sciences. 2020. vol. 21. no. 19. pp. 7152.
- 15 Journel M., Chaumontet C., Darcel N., Fromentin G. et al. Brain responses to high-protein diets. Advances in nutrition. 2012. vol. 3. no. 3. pp. 322-329.
- 16 Gvinianidze T.N., Margvelashvili E.G. Technology for the production of food concentrate from grapes and rose hips. Trajectories of Technological Development. 2022. vol. 1. no. 1. pp. 17–24
- 17 Ben Khaled H., Ktari N., Ghorbel-Bellaaj O., Jridi M. et al. Composition, functional properties and in vitro antioxidant activity of protein hydrolysates prepared from sardinelle (*Sardinella aurita*) muscle. Journal of Food Science and Technology. 2014. vol. 51. pp. 622-633. doi: 10.1007/s13197-011-0544-4
- 18 Chakraborty K., Joseph D., Joseph D. Concentration and stabilization of C20–22 n-3 polyunsaturated fatty acid esters from the oil of *Sardinella longiceps*. Food chemistry. 2016. vol. 199. pp. 828-837.
- 19 Tambunan J.E., Ibrahim B., Suseno S.H. Improved quality of sardines oil (*Sardinella* sp.) using centrifugation. Global Journal of Biology, Agriculture and Health Science. 2014. vol. 2. no. 4. pp. 196-202.
- 20 Budhi S., Noorhalisah F., Khadijah S.T., Brillyana S. Protein and calcium concentrate quality of Chacunda Gizzard Scad (*Anodontostoma chacunda*), Silver Rasbora (*Rasbora argyroteenia*), Bali *Sardinella* (*Sardinella lemuru*). Journal of Food and Nutrition Sciences. 2023. vol. 11. no. 6. pp. 161-165.

Сведения об авторах

Светлана В. Золотокопова д.т.н., профессор, кафедра технологии товаров и товароведения, Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, 16, г. Астрахань, 414056, Россия, zolotokopova@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2146-5443>

Ибрахим Корума ассистент, кафедра технологии товаров и товароведения, Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, 16, г. Астрахань, 414056, Россия, ibrahimkoroma@yandex.ru

<https://orcid.org/0009-0002-4830-0793>

Анастасия А. Неваляная к.т.н., доцент, кафедра технологии товаров и товароведения, Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, 16, г. Астрахань, 414056, Россия, nasty_n92@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8701-9171>

Александр И. Миронов аспирант, кафедра технологии товаров и товароведения, Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, 16, г. Астрахань, 414056, Россия, mirono011995@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-7471-0176>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Svetlana V. Zolotokopova Dr. Sci. (Engin.), professor, Department of Technology of Goods and Commodity Science, Astrakhan State Technical University, 16 Tatishcheva str., Astrakhan, 414056, Russia, zolotokopova@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2146-5443>

Ibrahim Koroma assistant, Department of Technology of Goods and Commodity Science, Astrakhan State Technical University, 16 Tatishcheva str., Astrakhan, 414056, Russia, ibrahimkoroma@yandex.ru

<https://orcid.org/0009-0002-4830-0793>

Anastasia A. Nevalennaya Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Technology of Goods and Commodity Science, Astrakhan State Technical University, 16 Tatishcheva str., Astrakhan, 414056, Russia, nasty_n92@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8701-9171>

Alexander I. Mironov Graduate student, Department of Technology of Goods and Commodity Science, Astrakhan State Technical University, 16 Tatishcheva str., Astrakhan, 414056, Russia, mirono011995@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-7471-0176>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 25/01/2024	После редакции 14/02/2024	Принята в печать 29/02/2024
Received 25/01/2024	Accepted in revised 14/02/2024	Accepted 29/02/2024

Упругое проскальзывание в задачах печати под давлением

Людмила Ю. Комарова	¹	luknew@ya.ru	 0000-0003-3005-6411
Станислав Ю. Ямилинец	¹	ymlnz@ya.ru	 0000-0002-9598-1117
Леонид Д. Дмитриев	¹	dmidigit@gmail.com	 0009-0005-0832-6093
Вячеслав К. Долгонос	¹	dolgonosov@inbox.ru	
Александр П. Кондратов	¹	apkrezerw@mail.ru	 0000-0001-6118-0808

¹ Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия

Аннотация. В полиграфической промышленности наиболее распространенными являются офсетная печать и флексография. Эти виды печати имеют неизбежные искажения репродуцируемого изображения. Постоянное неизбежное искажение происходит из-за проскальзывания упругих поверхностей в полосе контакта во время печатного процесса. В целях решения этой проблемы был проведен натурный эксперимент печати меток регистра по технологии, разработанной и запатентованной компанией Techkon. Эксперимент был направлен на изучение искажений, которые могут возникнуть при соприкосновении формного и офсетного цилиндров. В качестве поверхности формного и офсетного цилиндров печатных машин использовались жёсткая металлическая форма и офсетное резинотканевое полотно, являющиеся текстолитом. В результате эксперимента было обнаружено, что искажение на этих поверхностях вызывает постоянную неизбежную деформацию растровой точки. Для описания этой деформации была применена классическая контактная задача Герца, которая является широко применяемой моделью в области контактной механики. С помощью аппроксимации полученных численных значений было получено простое уравнение. Это уравнение практически полезно для инженерных расчетов, которые могут быть использованы для внесения предсказаний в растрируемый файл оригинала. Это, в свою очередь, позволяет достичь более точного репродуцируемого изображения в качестве соответствия цветов, формы и размеров мелких деталей. Это принимает особое значение, когда к продукции предъявляются требования по высокой точности воспроизведения цвета и деталей, чтобы обеспечить их эстетическую привлекательность и функциональность. Высокое качество востребовано при производстве декоративных элементов, таких как обои, ламинат, картины, и защищённой печати – деньги, марки, акцизы.

Ключевые слова: резинотканевое полотно, офсетная печать, искажения, полиграфия, флексография.

Elastic slip in printing tasks under pressure

Lyudmila Yu. Komarova	¹	luknew@ya.ru	 0000-0003-3005-6411
Stanislav Yu. Yamilinac	¹	ymlnz@ya.ru	 0000-0002-9598-1117
Leonid D. Dmitriev	¹	dmidigit@gmail.com	 0009-0005-0832-6093
Vyacheslav K. Dolgonosov	¹	dolgonosov@inbox.ru	
Alexander P. Kondratov	¹	apkrezerw@mail.ru	 0000-0001-6118-0808

¹ Moscow Polytechnic University, 38 B.Semenovskaya str., Moscow, 107023, Russia

Abstract. In the printing industry, the most common are offset printing and flexography. These types of printing have inevitable distortions in the reproduced image. Constant, inevitable distortion occurs due to the slippage of elastic surfaces in the contact strip during the printing process. In order to solve this problem, a full-scale experiment was conducted on printing register marks using technology developed and patented by Techkon. The experiment was aimed at studying the distortions that can occur when the plate and offset cylinders come into contact. As the surface of the plate and offset cylinders of printing machines, a rigid metal mold and an offset rubber-fabric fabric, which is a textolite, were used. As a result of the experiment, it was discovered that the distortion on these surfaces causes permanent and inevitable deformation of the raster dot. To describe this deformation, the classical Hertz contact problem was used, which is a widely used model in the field of contact mechanics. By approximating the obtained numerical values, a simple equation was obtained. This equation is practically useful for engineering calculations that can be used to introduce pre-emphasis on a rasterized original file. This, in turn, allows you to achieve a more accurate reproduced image in terms of matching colors, shapes and sizes of small details. This is especially important when products require high color and detail accuracy to ensure aesthetic appeal and functionality. High quality is in demand in the production of decorative elements such as wallpaper, laminate, paintings, and security printing - banknotes, stamps, excise taxes..

Keywords: offset rubber fabric, offset printing, distortion, printing, flexography.

Для цитирования

Комарова Л.Ю., Ямилинец С.Ю., Дмитриев Л.Д., Долгонос В.К., Кондратов А.П. Упругое проскальзывание в задачах печати под давлением // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 212–218. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-212-218

For citation

Komarova L.Yu., Yamilinac S.Yu., Dmitriev L.D., Dolgonosov V.K., Kondratov A.P. Elastic slip in printing tasks under pressure. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 212–218. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-212-218

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Способы традиционной печати отличаются принципами создания печатающих и пробельных элементов на печатной форме и методами переноса краски на запечатываемый материал [1].

Сегодня возросла роль объективного оценивания качества печатной продукции, которое определяется взаимодействием компонентов триады: запечатываемый материал – краска – печатающее устройство. Поэтому оборудование, обеспечивающее точный перенос краски на поверхность материала, как и другие компоненты, отвечает за конечное качество оттиска [2].

В офсетной и флексографской печати для краскопереноса применяют упруго-эластичные материалы формного и офсетного цилиндров. Формный цилиндр покрыт гибкой формой, офсетный – композиционным офсетным резинотканевым полотном (ОРТП), имеющими высокую долю упругих деформаций [1–4].

В условиях оптимального давления между печатной формой и ОРТП в зоне соприкосновения при передаче краски возникают искажения в печатных элементах. Возникающие искажения статистически не определяются [1–4].

Устранение искажений осуществляется путем компенсации на стадии подготовки форм. Отсутствие статистических методов компенсации вынуждает определять искажения опытным путем [1–3].

Материалы и методы

Для определения параметров взаимодействия формного и офсетного цилиндров в офсетной печатной машине можно использовать контактную задачу Герца [5].

Натурные испытания проводились на печатной машине Heidelberg Speedmaster CD 74 (производство Германия) на инструментальном комплексе с использованием оптической системы измерения TECHKON RMS 910. Непосредственным измерением геометрии формы и площади меток регистра. Метка регистра записывается на калиброванной печатной форме и имеет абсолютно круглую форму диаметром ≈ 50 мкм. Оптической системой последовательно измеряются оттиски метки на резинотканевом полотне и бумаге.

На рисунке 1 представлена схема расположения цилиндров в печатной машине. Давление создается при сжатии упруго-эластичного ОРТП на фиксированную величину. Сжатие обеспечивается контактными кольцами цилиндров и толщиной жесткой подложки на цилиндре под ОРТП. Радиусы контактных колец и печатного цилиндра одинаковы [1–3].

Композиционное резинотканевое полотно устанавливается вровень с контактными кольцами путем подбора жесткой подложки (пленка, картон) с учетом остаточной деформации. Остаточная деформация учитывается при натяжении полотна и его приработке. Натиск в верхней печатной паре создает превышение жесткой металлической формы над контактными кольцами [2,3].

Давление в нижней печатной паре создается путем подведения нижнего печатного цилиндра к офсетному, где нулевая точка – это контакт печатного цилиндра с контактными кольцами офсетного цилиндра. Эта величина выбирается печатником в зависимости от состава, структуры и вида отделки запечатываемого материала. Определяющее условие – минимально необходимое давление, при котором происходит максимально возможная пропечатка всех элементов изображения [2, 3].

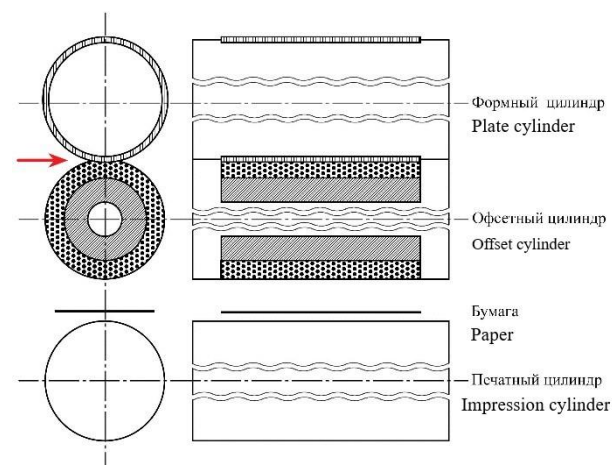


Рисунок 1. Схема печатной секции офсетной печатной машины

Figure 1. Scheme of the printing section of an offset printing machine

Соприкосновение контактных зон поверхностей печатного и офсетного цилиндров (на рисунке 1 обозначено красной стрелкой) прием как соприкосновение упругих параллельных полуплоскостей (рисунок 2). Полуплоскости могут изменять положение как жесткие тела. Постоянная внешняя сила сдвигает тела без изменения направления при изменении положения полуплоскостей. За границей зоны соприкосновения полуплоскости находятся на расстоянии друг от друга (отдалены) и не испытывают напряжений [2–5].

Различия радиусов печатного и офсетного цилиндров в зоне соприкосновения и одинаковая угловая скорость обеспечивают несовпадение линейных скоростей полуплоскостей. Скорости полуплоскостей формного и офсетного цилиндра – v_1 и v_2 соответственно. В зоне соприкосновения можно выделить области с длинами d_1 и d_2 ,

где точки поверхностей проскальзывают друг относительно друга, и зона d_2 , где поверхности сцеплены и точки неподвижны относительно друг друга [4–5].

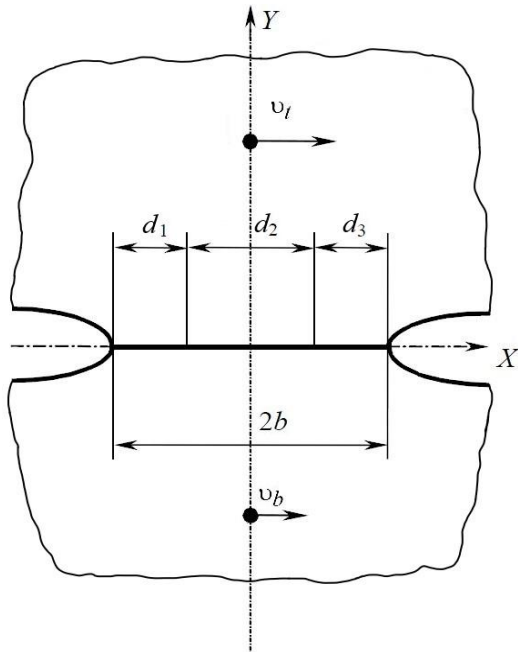


Рисунок 2. Соприкосновение упругих полуплоскостей формного и офсетного цилиндров

Figure 2. Contact of the elastic half-planes of the plate and offset cylinder

Дополнительные условия для решения задачи: ОРТП испытывает только упругие деформации, определяемые законом Гука; зона соприкосновения значительно меньше общих поверхностей цилиндров; поверхность ОРТП однородна по свойствам и натяжению на каждом участке. Определение трения в печатной паре офсетной печати с увлажнением пробельных элементов является спорным, но будет использоваться в дальнейшем, так как присутствует в классической контактной задаче Герца.

Для тела в состоянии равновесия сумма работ всех действующих на него сил равна нулю при всех возможных изменениях положения, принцип Лагранжа [6]:

$$\Delta E = \Delta A_{\text{int}} + \Delta A_{\text{ext}} \quad (1)$$

где ΔE – вариация энергии системы; ΔA_{int} – вариация работы внутренних сил; ΔA_{ext} – вариация работы внешних сил.

Вариация работы внутренних сил может быть представлена в виде

$$\Delta A_{\text{int}} = \delta [0.5 \iiint_V (G \cdot \Gamma^2 + 3 \cdot \varepsilon^2 \cdot k) dV] \quad (2)$$

где G – модуль сдвига, $G = 0.5E / (1 + \mu)$; Γ – интенсивность деформации сдвига; ε – средняя деформация, $\varepsilon = (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) / 3$; k – модуль объемной деформации, $k = E / (1 - \mu)$; E – модуль Юнга; μ – коэффициент Пуассона.

Участкам скольжения свойственно возникновение на поверхности касательных напряжений трения, помимо нормальных напряжений. Из-за неопределенности границ этих участков вариация работы внешних сил в уравнении (1) будет отлична от нуля и может быть определена как

$$\Delta A_{\text{ext}} = \sum_j \iint_{S_j} \tau_j \delta w_j dS_j = \delta \left[\sum_j \iint_{S_j} \tau_j w_j dS_j \right] \quad (3)$$

где τ_j – касательные напряжения трения в зонах скольжения; $j = 1, 3$ – соответственно зонам (рисунок 2); w_j – смещение точек поверхности в зонах скольжения; S_j – площадь зон скольжения.

Касательные напряжения трения определяются через нормальные

$$\tau_j = f_j \cdot \sigma_{y=0}$$

где f_j – коэффициент трения в j -зоне; $\sigma_{y=0}$ – нормальные напряжения на контактной поверхности.

Таким образом, вариационное уравнение (1) примет вид

$$\delta \left[0.5 \iiint_V (G \cdot \Gamma^2 + 3 \cdot \varepsilon^2 \cdot k) dV - \sum_j \iint_{S_j} f_j \cdot v_j \cdot \left(\frac{E}{1 + \mu} \cdot \varepsilon_y \Big|_{y=0} + \frac{3\mu}{1 + \mu} \cdot k \cdot \varepsilon \Big|_{y=0} dS \right) \right] \equiv 0 \quad (4)$$

1.1 Область деформации

Определим систему координат с осями X и Y для участка соприкосновения. На участке соприкосновения полуплоскости упруго деформируются. Примем форму участка V соприкосновения как прямоугольную с длиной, равной длине участка соприкосновения, и высотой h – глубиной деформации, как показано на рисунке 3а. В качестве единицы длины используется половина длины участка соприкосновения.

1.2 Кинематически допустимое поле скоростей

Движение точек на участке соприкосновения будет происходить как по оси X , так и по оси Y . Причина – изменение скорости на разных областях участка соприкосновения. В области сцепления скорость точек равна нулю, а вне деформированного участка будет Δv и $-\Delta v$ для полуплоскостей формного и офсетного цилиндров соответственно, где $\Delta v = (v_t - v_b) / 2$ [8–10].

Таким образом, рассматриваемый участок можно разделить на области «замедления», «сцепления», «ускорения». Кинематически возможное поле скоростей рассматриваемого участка представлено на рисунке 3б [8–10].

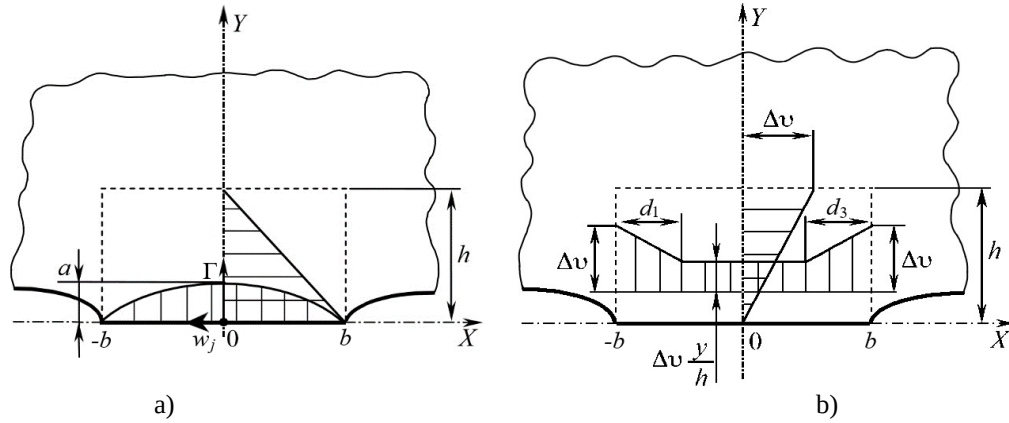


Рисунок 3. Эпюра перемещений (а) и кинематически допустимое поле скоростей (б) в зоне соприкосновения
Figure 3. Epure of displaced (a) and kinematically permissible velocity field (b) in the contact zone

1.3 Расчет упругих деформаций

Учитывая постоянные изменения перемещения точек в зоне деформации линейные и угловые деформации могут быть определены:

$$\varepsilon_x = \begin{cases} \frac{\Delta v}{v} \cdot \left(\frac{y}{h} - 1\right) \cdot \frac{x+1}{d}, & -1 \leq x \leq -1+d; \\ \frac{\Delta v}{v} \cdot \left(\frac{y}{h} - 1\right), & -1+d < x < 1-d; \\ \frac{\Delta v}{v} \cdot \left(1 - \frac{y}{h}\right) \cdot \frac{x-1}{d}, & 1-d \leq x \leq 1; \end{cases} \quad (5)$$

$$\varepsilon_y = -a \cdot (1-x^2) \cdot \frac{1}{h}; \quad (6)$$

$$\varepsilon_z = 0; \quad (7)$$

$$\gamma_{xy} = \begin{cases} -2ax \left(1 - \frac{y}{h}\right) + \frac{\Delta v}{v} \cdot \frac{(x+1)^2}{2hd}, & -1 \leq x \leq -1+d; \\ -2ax \left(1 - \frac{y}{h}\right) + \frac{\Delta v}{v} \cdot \frac{2x+2-d}{2h}, & -1+d < x < 1-d; \\ -2ax \left(1 - \frac{y}{h}\right) + \frac{\Delta v}{v} \cdot \frac{4d-2d^2-(x-1)^2}{2hd}, & 1-d \leq x \leq 1; \end{cases} \quad (8)$$

$$\gamma_{yz} = \gamma_{zx} = 0.$$

Для упрощения расчетов примем длины областей «замедления» и «ускорения» равными: $d_1 = d_3 = d$.

Тогда энергия системы имеет следующий вид [11]:

$$E = 2GB \left[\frac{1-\mu}{1-2\mu} \cdot \left\{ \left(\frac{\Delta v}{v}\right)^2 \cdot \frac{h(6-4d)}{9} + \frac{16}{15} \cdot \frac{a^2}{h} \right\} + \frac{4\mu-1}{1-2\mu} \cdot \frac{\Delta v}{v} \cdot \frac{a(d^3-4d^2+8)}{12} + \left(\frac{\Delta v}{v}\right)^2 \cdot \frac{8d^3-5d^2-60d+80}{60h} + \frac{4}{9} \cdot a^2 \cdot h - 2f \cdot \left\{ \frac{1-\mu}{1-2\mu} \cdot \frac{a(d^4-3d^3)}{3h} - \frac{\mu}{1-2\mu} \cdot \frac{\Delta v}{v} \cdot \frac{d^2}{2} \right\} \right], \quad (9)$$

где B – полуширина участка соприкосновения по оси Z .

Согласно энергетическому условию Губера-Мизеса, при значениях $\Delta v/v$ и a менее чем 10^{-2} на участке соприкосновения отсутствуют пластические деформации, что ограничивает использование рассматриваемых уравнений [11].

1.4 Случаи скоростной асимметрии

Скорости полуплоскостей определяют появление следующих областей на участке соприкосновения: при $\Delta v = 0$ (контактная задача Герца) на всем участке соприкосновения – только область «сцепления» поверхностей; при $v_t < v_b$ присутствуют области «замедления» и «сцепления», зона «ускорения» отсутствует ($d = d_1 \neq 0$, $d_3 = 0$); при $v_t > v_b$ присутствуют все области ($d_1 = d_2 = d_3$).

При нормальной эксплуатации печатной машины реализуется только третий случай.

Когда области скольжения формируются в начале и в конце участка соприкосновения, минимизация функционала энергии (9) по неизвестным h и d приводит к следующей системе уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dE}{dh} &= \left[\frac{1-\mu}{1-2\mu} \cdot \left(\frac{\Delta v}{v}\right)^2 \cdot \frac{6-4d}{3} - \frac{1-\mu}{1-2\mu} \cdot \frac{16a^2}{5h^2} + \frac{4a^2}{3} - \left(\frac{\Delta v}{v}\right)^2 \cdot \frac{8d^3-5d^2-60d+80}{20h^2} + f \cdot \frac{1-\mu}{1-2\mu} \cdot \frac{2a(d^4-3d^3)}{h^2} \right] = 0 \\ \frac{dE}{dd} &= \left[\left(\frac{\Delta v}{v}\right)^2 \cdot \left[-\frac{1-\mu}{1-2\mu} \cdot \frac{4h}{9} + \frac{12d^2-5d-30}{20h^2} \right] + \frac{4\mu-1}{1-2\mu} \cdot \frac{\Delta v}{v} \cdot \frac{a(3d^2-8d)}{12} - f \cdot \left[\frac{1-\mu}{1-2\mu} \cdot \frac{2a(4d^3-9d^2)}{3h} - \frac{2\mu}{1-2\mu} \cdot \frac{\Delta v}{v} \cdot d \right] \right] = 0 \end{aligned} \right. \quad (10)$$

В качестве примера на рисунке 4 представлено изменение глубины проникновения деформации и длины зоны скольжения от относительной разности скоростей полуплоскостей для различных смещений их по направлению друг к другу (пропорциональных сдвигу воздействию).

Аппроксимация результатов при различных значениях разности скоростей, сдвигивающей нагрузки и коэффициента трения, получено выражение для определения длины зоны скольжения применимое в инженерных расчетах:

$$d = k_\mu k_a k_f \frac{\Delta v}{v}, \quad (111)$$

где: $k_\mu = 2.024 - 4.094\mu$, $k_a = 1.1 - 26.5a$, $k_f = 1.68 - 16.21f + 51.54f^2$, качество аппроксимации: $0,87 R^2$.

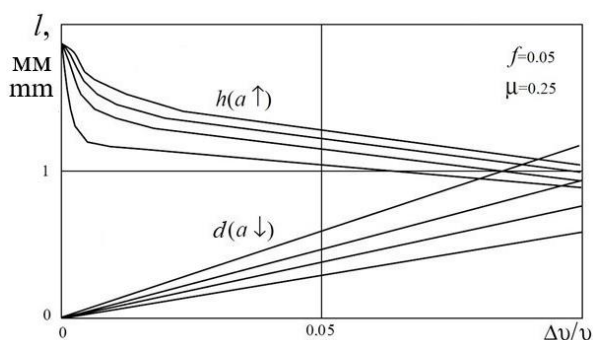


Рисунок 4. Влияние асимметрии скорости на глубину проникновения деформации h и протяженность скольжения d при $a = 0.02; 0.05; 0.07; 0.1$

Figure 4. The influence of speed asymmetry on the depth of penetration of deformation h and the length of sliding d at $a = 0.02; 0.05; 0.07; 0.1$

Различия радиусов печатного и офсетного цилиндров в зоне соприкосновения и одинаковая угловая скорость обеспечивают несовпадение линейных скоростей полуплоскостей. Скорости полуплоскостей формного и офсетного цилиндра – v_t и v_b соответственно. В зоне соприкосновения можно выделить области с длинами d_1 и d_3 , где точки поверхностей проскальзывают друг относительно друга, и зона d_2 , где поверхности сцеплены и точки неподвижны относительно друг друга.

Результаты

Полученные значения позволяют определять напряженно-деформированное состояние участка соприкосновения путем подстановки в уравнения деформации (5–8). Выявлено, что при увеличении разности скоростей, длины зон скольжения увеличиваются, а условная глубина проникновения деформации уменьшается до 30÷50%. Это связано с диссипацией энергии в зоне скольжения и перераспределением напряжений на деформированном участке (в частности – с увеличением нормальных напряжений по всей площадке соприкосновения).

Управляемое проскальзывание, при котором рассогласование скоростей участков поверхностей происходит исключительно в начале соприкосновения, может использоваться в расчетах для компенсации искажений в офсетной и флексографической печати. Оно будет создавать новые участки на соприкасающихся поверхностях цилиндров, но и может повлиять на появление сдвига элементов по всей площадке, когда протяженность области проскальзывания будет приближаться к величине $2b$. Поэтому необходимо контролировать протяженность области проскальзывания, обеспечивая не превышение половины длины участка соприкосновения. Иначе, случится сдвиг элементов, что нарушит целостность печатной поверхности формы офсетной или флексографской в процессе печати. Увеличение нормальных напряжений на участке соприкосновения в области сцепления, как результат рассогласования скоростей, будет также способствовать более высокому качеству печати.

Обсуждение

Полученные значения позволяют определять напряженно-деформированное состояние участка соприкосновения путем подстановки в уравнения деформации (5–8). Выявлено, что при увеличении разности скоростей, длины зон скольжения увеличиваются, а условная глубина проникновения деформации уменьшается до 30÷50%. Это связано с диссипацией энергии в зоне скольжения и перераспределением напряжений на деформированном участке (в частности – с увеличением нормальных напряжений по всей площадке соприкосновения).

Управляемое проскальзывание, при котором рассогласование скоростей участков поверхностей происходит исключительно в начале соприкосновения, может использоваться в расчетах для компенсации искажений в офсетной и флексографической печати. Оно будет создавать новые участки на соприкасающихся поверхностях цилиндров, но и может повлиять на появление сдвига элементов по всей площадке, когда протяженность области проскальзывания будет приближаться к величине $2b$. Поэтому необходимо контролировать протяженность области проскальзывания, обеспечивая не превышение половины длины участка соприкосновения. Иначе, случится сдвиг элементов, что нарушит целостность печатной поверхности формы офсетной или флексографской в процессе печати. Увеличение нормальных напряжений на участке соприкосновения в области сцепления, как результат рассогласования скоростей, будет также способствовать более высокому качеству печати.

Заключение

Представленная методика расчета областей скольжения при соприкосновении поверхностей применима при исследовании других трибологических процессов непосредственного физического взаимодействия между взаимоперемещающимися

поверхностями. В частности, управляемое проскальзывание упругих поверхностей на участке деформации при производстве высокоточных репродукций, в том числе денежных знаков, акцизных марок, при офсетной и флексографской печати.

Литература

- 1 Ямилинец С.Ю. Расчет деформации растровой точки для автоматизации внесения предсказаний // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 11. С. 529–531.
- 2 Yamilinets S.Y., Zhuravleva G.N., Kondratov A.P. Chemical resistance of a surface of an offset cylinder of printing equipment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020. V. 862. №. 6. P. 062107. doi: 10.1088/1757-899X/862/6/062107
- 3 Moginov R., Vorozhtsov A. The Statement and Investigation of the Problem of Separation of a Paper Sheet from the Offset Cylinder after Printing // Advances in Printing and Media Technology. 2015. V. XLII(II). P. 89–98.
- 4 Васильев И.Ю., Ананьев В.В. Исследование поверхностных свойств биокomпозиционных материалов, модифицированных обработкой в плазме коронного разряда // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2(96). С. 205–215. doi: 10.20914/2310-1202-2023-2-205-215
- 5 Мазур И.П. Упругое проскальзывание в задачах обработки металлов давлением // Инновационные технологии в металлургии и машиностроении: материалы 6-й международной молодежной научно-практической конференции «Инновационные технологии в металлургии и машиностроении. Уральская научно-педагогическая школа имени профессора А.Ф. Головина». Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2013. С. 15–20.
- 6 Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела; 2 изд. М.: Наука, 1988. 712 с.
- 7 Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости: пер. с англ., 2 изд. М.: Наука, 1979. 560 с.
- 8 Зобова А.А., Горячева И.Г. Динамическая задача о качении с проскальзыванием упругого цилиндра по упругому полупространству // Доклады Академии наук. 2018. Т. 481. № 1. С. 24–26. doi: 10.31857/S086956520000044-1
- 9 Острик В.И. Вдавливание штампа в упругую полосу при наличии трения и сцепления // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2011. № 5. С. 118–129.
- 10 Станкевич И.В., Яковлев М.Е., Хтет С.Т. 77–30569/353180 Математическое моделирование контактного взаимодействия упругопластических сред // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. № 4. С. 42.
- 11 Деннис Дж., Шнабель Р. Численные методы безусловной оптимизации и решения нелинейных уравнений: пер. с англ. М.: Мир, 1988. 440 с.
- 12 Miljković P., Valdec D., Matijević M. The impact of printing substrate on dot deformation in flexography // Tehnički vjesnik. 2018. V. 25. №. 2. P. 509-515. doi: 10.17559/TV-20170710152140
- 13 Żolek-Tryznowska Z., Rombel M., Petriaszwili G., Dedijer S. et al. Influence of some flexographic printing process conditions on the optical density and tonal value increase of overprinted plastic films // Coatings. 2020. V. 10. №. 9. P. 816.
- 14 Abo Dahab S.M., Farhaty M.A., Abdalmegeed T.A. High-definition Flexographic Technology Effect on Digital Flexographic Printing Plates Production to Improve Flexible Packaging Prints // Journal of Design Sciences and Applied Arts. 2023. V. 4. №. 1. P. 311-322.
- 15 Stanislav B., Igor M., Kristijan G. Packaging printing today // Faculty of Graphic Arts, University of Zagreb, Croatia Packaging Printing Today, acta graphical. 2015. V. 26. №. 4. P. 27-33.
- 16 Wolfer T., Bollgruen P., Mager D., Overmeyer L. et al. Flexographic and inkjet printing of polymer optical waveguides for fully integrated sensor systems // Procedia Technology. 2014. V. 15. P. 521-529.
- 17 Morgan M.L., Holder A., Curtis D.J., Deganello D. Formulation, characterisation and flexographic printing of novel Boger fluids to assess the effects of ink elasticity on print uniformity // Rheologica Acta. 2018. V. 57. P. 105-112.
- 18 Youssef K.T. Using of flexographic printing plates for producing an organic field effect transistor // International Design Journal. 2015. V. 5. №. 2. P. 447-452.
- 19 Assaifan A. K. Flexographic Printing Contributions in Transistors Fabrication // Advanced Engineering Materials. 2021. V. 23. №. 5. P. 2001410. doi: 10.1002/adem.202001410
- 20 Folea G.V., Bălan E., Mohora C. Considerations on quality assurance for flexographic print products // Annals of the Academy of Romanian Scientists, Series on Engineering Sciences. 2020. V. 12. №. 1. P. 33-47.

References

- 1 Yamilinets S.Yu. Calculation of raster point deformation to automate the introduction of pre-emphasis. News of the Tula State University. Technical science. 2020. no. 11. pp. 529–531. (in Russian).
- 2 Yamilinets S.Y., Zhuravleva G.N., Kondratov A.P. Chemical resistance of a surface of an offset cylinder of printing equipment. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020. vol. 862. no. 6. pp. 062107. doi: 10.1088/1757-899X/862/6/062107
- 3 Moginov R., Vorozhtsov A. The Statement and Investigation of the Problem of Separation of a Paper Sheet from the Offset Cylinder after Printing. Advances in Printing and Media Technology. 2015. vol. XLII(II). pp. 89–98.
- 4 Vasilyev I.Yu., Ananyev V.V. Study of the surface properties of biocomposite materials modified by treatment in corona discharge plasma. Proceedings of VSUET. 2023. vol. 85. no. 2(96). pp. 205–215. doi: 10.20914/2310-1202-2023-2-205-215 (in Russian).
- 5 Mazur I.P. Elastic slip in metal forming tasks. Innovative technologies in metallurgy and mechanical engineering: materials of the 6th international youth scientific and practical conference “Innovative technologies in metallurgy and mechanical engineering. Ural Scientific and Pedagogical School named after Professor A.F. Golovin.” Ekaterinburg, Ural Publishing House. Univ., 2013. pp. 15–20. (in Russian).

- 6 Rabotnov Yu.N. Mechanics of deformable solids. Moscow, Nauka, 1988. 712 p. (in Russian).
- 7 Timoshenko S.P., Goodyear J. Theory of elasticity: trans. Moscow, Nauka, 1979. 560 p. (in Russian).
- 8 Zobova A.A., Goryacheva I.G. Dynamic problem of rolling with sliding of an elastic cylinder along an elastic half-space. Reports of the Academy of Sciences. 2018. vol. 481. no. 1. pp. 24–26. doi: 10.31857/S086956520000044-1 (in Russian).
- 9 Ostrik V.I. Indentation of a stamp into an elastic strip in the presence of friction and adhesion. Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Mechanics of solids. 2011. no. 5. pp. 118–129. (in Russian).
- 10 Stankevich I.V., Yakovlev M.E., Khtet S.T. 77–30569/353180 Mathematical modeling of contact interaction of elastoplastic media. Science and education: scientific publication of MSTU. N.E. Bauman. 2012. no. 4. pp. 42. (in Russian).
- 11 Dennis J., Schnabel R. Numerical methods for unconditional optimization and solving nonlinear equations. Moscow, Mir, 1988. 440 p. (in Russian).
- 12 Miljković P., Valdec D., Matiječić M. The impact of printing substrate on dot deformation in flexography. Tehnički vjesnik. 2018. vol. 25. no. 2. pp. 509–515. doi: 10.17559/TV-20170710152140
- 13 Żolek-Tryznowska Z., Rombel M., Petriaszwili G., Dedijer S. et al. Influence of some flexographic printing process conditions on the optical density and tonal value increase of overprinted plastic films. Coatings. 2020. vol. 10. no. 9. pp. 816.
- 14 Abo Dahab S.M., Farhaty M.A., Abdalmded T.A. High-definition Flexographic Technology Effect on Digital Flexographic Printing Plates Production to Improve Flexible Packaging Prints. Journal of Design Sciences and Applied Arts. 2023. vol. 4. no. 1. pp. 311–322.
- 15 Stanislav B., Igor M., Kristijan G. Packaging printing today. Faculty of Graphic Arts, University of Zagreb, Croatia Packaging Printing Today, acta graphical. 2015. vol. 26. no. 4. pp. 27–33.
- 16 Wolfer T., Bollgruen P., Mager D., Overmeyer L. et al. Flexographic and inkjet printing of polymer optical waveguides for fully integrated sensor systems. Procedia Technology. 2014. vol. 15. pp. 521–529.
- 17 Morgan M.L., Holder A., Curtis D.J., Deganello D. Formulation, characterisation and flexographic printing of novel Boger fluids to assess the effects of ink elasticity on print uniformity. Rheologica Acta. 2018. vol. 57. pp. 105–112.
- 18 Youssef K.T. Using of flexographic printing plates for producing an organic field effect transistor. International Design Journal. 2015. vol. 5. no. 2. pp. 447–452.
- 19 Assaifan A. K. Flexographic Printing Contributions in Transistors Fabrication. Advanced Engineering Materials. 2021. vol. 23. no. 5. pp. 2001410. doi: 10.1002/adem.202001410
- 20 Folea G.V., Bălan E., Mohora C. Considerations on quality assurance for flexographic print products. Annals of the Academy of Romanian Scientists, Series on Engineering Sciences. 2020. vol. 12. no. 1. pp. 33–47.

Сведения об авторах

Людмила Ю. Комарова к.т.н., доцент, кафедра инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, luknew@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3005-6411>

Станислав Ю. Ямилинец аспирант, кафедра инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, ymlnz@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9598-1117>

Леонид Д. Дмитриев студент, кафедра инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, dmidigit@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0005-0832-6093>

Вячеслав К. Долгонос аспирант, кафедра инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, dolgonosov@inbox.ru

Александр П. Кондратов д.т.н., профессор, кафедра инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, apkrezerv@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6118-0808>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Lyudmila Yu. Komarova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, innovative materials of the print media industry department, Moscow Polytechnic University, st. Bolshaya Semenovskaya, 38, Moscow, 107023, Russia, luknew@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3005-6411>

Stanislav Yu. Yamilinets postgraduate student, innovative materials of the print media industry department, Moscow Polytechnic University, st. Bolshaya Semenovskaya, 38, Moscow, 107023, Russia, ymlnz@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9598-1117>

Leonid D. Dmitriev student, innovative materials of the print media industry department, Moscow Polytechnic University, st. Bolshaya Semenovskaya, 38, Moscow, 107023, Russia, dmidigit@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0005-0832-6093>

Vyacheslav K. Dolgonosov postgraduate student, innovative materials of the print media industry department, Moscow Polytechnic University, st. Bolshaya Semenovskaya, 38, Moscow, 107023, Russia, dolgonosov@inbox.ru

Alexander P. Kondratov Dr. Sci (Engin.), professor, innovative materials of the print media industry department, Moscow Polytechnic University, st. Bolshaya Semenovskaya, 38, Moscow, 107023, Russia, apkrezerv@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6118-0808>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 22/01/2024	После редакции 14/02/2024	Принята в печать 01/03/2024
Received 22/01/2024	Accepted in revised 14/02/2024	Accepted 01/03/2024

Получение высококонцентрированных пропиленовой и пропановой фракций на АГФУ FCC

Сергей В. Попов¹ svpopov2018@ya.ru  0000-0003-0533-9049
Нина А. Плешакова¹ napleshakova63@ya.ru .
Рафаэль А. Махмудов¹ svpopov2018@ya.ru .

¹ Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия

Аннотация. Пропан-пропиленовая фракция имеет широкое использование в промышленности, например в крупнотоннажном процессе алкилирования бензола пропиленом в производстве фенола-аcetона. При этом практический интерес представляет ректификационное концентрирование пропилена из пропан-пропиленовой фракции, вырабатываемой на абсорбционной газофракционирующей установке в составе установки флюид-каталитического крекинга. С целью получения фракции с высоким содержанием пропилена показана возможность включения в технологическую схему АГФУ FCC дополнительной ректификационной колонны для выделения из пропан-пропиленовой фракции пропиленовой (содержание пропилена 99,5% масс.) и пропановой (содержание пропана 98,1 % масс.) фракций. Исследования проводились с использованием моделирующей системы Honeywell UniSim Design. Параметры компонентов фракций рассчитывались по методу Peng-Robinson. Для оценки актуального числа тарелок проектируемой ректификационной колонны номера оптимальной тарелки питания и соответствующего флегмового числа моделировали протекание процесса разделения пропиленовой и пропановой фракций в колонне Short Cut Distillation. Полученные результаты воспроизведены на ректификационной колонне, содержащей 90 трёх-поточных клапанных тарелок (эффективность контактного устройства принята 0,8). Оптимальные технологические и конструкционные параметры ректификационной колонны, обеспечивающие чёткое разделение пропиленовой и пропановой фракций, имеют следующие значения: давление верха и низа колонны $P_{\text{верх}}=1600$ кПа и $P_{\text{низ}}=1650$ кПа; температура в конденсаторе $T_{\text{кон}}=38,87$ °C и в ребойлере $T_{\text{реб}}=48,52$ °C; флегмовое число $R=11$; тарелка питания $N_p=34$; расстояние между тарелками 500мм. Приведен температурный профиль по высоте колонны. Модель ректификационной колонны может использоваться для оценки режимных и конструкционных параметров при её промышленном проектировании. Включение предлагаемой колонны в технологическую схему АГФУ FCC позволит получить на предприятии дополнительную экономическую выгоду.

Ключевые слова: каталитический крекинг, абсорбционная газофракционирующая установка, пропан-пропиленовая фракция, ректификация, моделирование, Honeywell UniSim Design

Production of highly concentrated propylene and propane fractions at the FCC AGFU

Sergey V. Popov¹ svpopov2018@ya.ru  0000-0003-0533-9049
Nina A. Pleshakova¹ napleshakova63@ya.ru .
Rafael A. Makhmudov¹ svpopov2018@ya.ru .

¹ Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia

Abstract. The propane-propylene fraction is widely used in industry, for example in the large-scale process of alkylation of benzene with propylene in the production of phenol-acetone. At the same time, the rectification concentration of propylene from the propane-propylene fraction produced at an absorption gas fractionation plant as part of a fluid catalytic cracking plant is of practical interest. In order to obtain a fraction with a high propylene content, it is shown that an additional distillation column can be included in the technological scheme of the FCC AGFU to separate propylene (propylene content 99.5% by weight) and propane (propane content 98.1% by weight) fractions from propane-propylene. fractions. The research was carried out using the Honeywell UniSim Design modeling system. The parameters of the fraction components were calculated using the Peng-Robinson method. To estimate the actual number of plates of the projected distillation column, the number of the optimal feeding plate and the corresponding phlegm number, the process of separation of propylene and propane fractions in the Short Cut Distillation column was simulated. The results obtained were reproduced on a distillation column containing 90 three-flow valve plates (the efficiency of the contact device was assumed to be 0.8). The optimal technological and structural parameters of the distillation column, which ensure a clear separation of propylene and propane fractions, have the following values: pressure of the top and bottom of the column $R_{\text{er}}=1600$ kPa and $R_{\text{nz}}=1650$ kPa; temperature in the condenser $T_{\text{con}}=38.87$ °C and in the reboiler $T_{\text{reb}}=48.52$ °C; phlegm number $R=11$; power plate $N_p=34$; the distance between the plates is 500mm. The temperature profile of the column height is given. The rectification column model can be used to evaluate the operating and structural parameters in its industrial design. The inclusion of the proposed column in the technological scheme of the FCC AGFU will allow additional economic benefits to be obtained at the enterprise.

Keywords: catalytic cracking, absorption gas fractionation unit, propane-propylene fraction, rectification, modeling, Honeywell UniSim Design

Введение

Процесс каталитического крекинга продолжает иметь большое значение для глубокой переработки нефти, обеспечивая получение из малоценного тяжёлого сырья компонентов бензина и дизельного топлива, углеводородные газы – сырья нефтехимических процессов.

Для цитирования

Попов С.В., Плешакова Н.А., Махмудов Р.А. Получение высококонцентрированных пропиленовой и пропановой фракций на АГФУ FCC // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 219–226. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-219-226

В связи с этим, для многих заводов установка каталитического крекинга является ключевой в плане достижения рентабельности работы всего предприятия [1–3].

Наличие в их составе газофракционирующей установки позволяют получать из нефтезаводских газов углеводородные фракции высокой

For citation

Popov S.V., Pleshakova N.A., Makhmudov R.A. Production of highly concentrated propylene and propane fractions at the FCC AGFU. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 219–226. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-219-226

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

чистоты или индивидуальные легкие углеводороды, которые являются не только экологически чистым топливом, но и сырьем для получения спиртов, полипропилена, МТБЭ, бутадиенового каучука и т. д.

Пропан-пропиленовая фракция (ППФ), вырабатываемая на абсорбционной газодиффузионной установке (АГДУ) в составе установки флюид-каталитического крекинга (ФКК), имеет широкое использование в промышленности, например, в крупнотоннажном процессе алкилирования бензола пропиленом в производстве фенола-ацетона.

Отметим, что особо важное значение имеет присутствие пропилена в ППФ. В настоящее время отмечается интенсивный рост спроса на пропилен, основным способом промышленного получения которого является пиролиз жидкого углеводородного сырья. В связи с этим актуальным является поиск возможных технологических вариантов по увеличению выпуска пропилена. Для решения этого вопроса разработан ряд модификаций каталитического крекинга с увеличенным выходом пропилена [4], разрабатываются присадки, используемые в катализаторах и обеспечивающие увеличение выхода лёгких олефинов [5–7].

В работах [8–10] с целью получения пропилена ППФ предлагается использовать в виде дополнительного источника сырья на блоке газоразделения производства этилена-пропилена.

Важным направлением получения пропилена, имеющим практический и экономический интерес, представляется ректификационное концентрирование пропилена из пропан-пропиленовой фракции.

В исследовании [11] показано фракционирование ППФ диоксидом углерода при умеренных температурах с помощью имитируемого движущегося слоя газовой фазы в цеолите. Возможность достаточно чёткого отделения пропилена от пропана путем экстрактивной дистилляции с использованием водного раствора N-метил-2-пирролидона в качестве разделяющего агента показана в работе [12]. Для оптимизации работы ректификационной колонны разделения ППФ в статье [13] предлагается динамическая модель с использованием промышленного контроллера.

Разделение ректификацией с применением углеводородных разбавителей и / или селективной абсорбцией с частичной отпаркой в кипятильнике потока, который возвращают в зону ректификации или абсорбции, обеспечивает содержание пропилена выше 97% мас. [14]. Способ разделения ППФ пиролиза в двух ректификационных колоннах предлагается в исследовании [15–20], однако содержание пропилена в пропиленовой фракции

составляет 90% масс. В работе [15] показано, что для схемы разделения ППФ, состоящей из двух колонн, расчетным методом определены оптимальные технологические режимы, которые обеспечивают содержание пропилена 99,1% масс. и пропана не более 0,8% масс. в пропиленовой фракции, а в пропановой фракции пропилена – не более 0,03% масс.

Цель работы – исследование возможности получения высококонцентрированных пропиленовой (содержание пропилена не ниже 99,5% масс.) и пропановой фракций на АГДУ ФКК.

Методы

Объектом настоящего исследования является АГДУ в составе ФКК. Сырьё АГДУ – жирный газ (ЖГ), выделяемый из состава реакционной массы на фракционирующей колонне ФКК. Операционная схема АГДУ показана на рисунке 1.

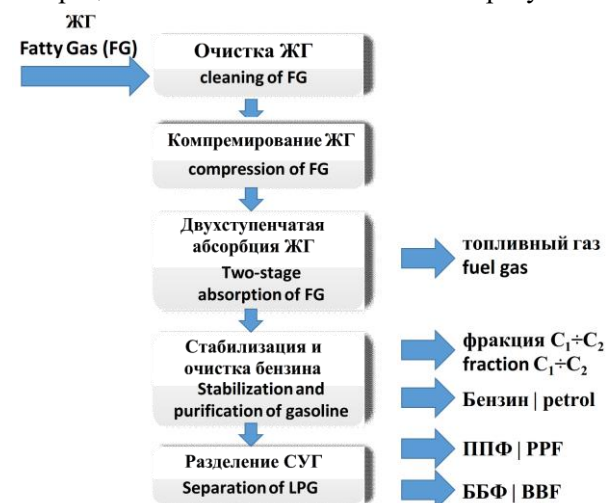


Рисунок 1. Операционная схема АГДУ
Figure 1. The operating scheme of the AGFU

ЖГ поступает на узел «Очистка ЖГ» под нижнюю тарелку аминового абсорбера, где обеспечивается его очистка от сероводорода раствором моноэтаноламина (МЭА) и отмывка от примеси МЭА водой. ЖГ с верха аминового абсорбера подаётся на узел «Компримирование ЖГ» и далее на контур «Двухступенчатая абсорбция ЖГ», предназначенный для извлечения из ЖГ углеводородов C3+ с использованием в качестве абсорбента нестабильного бензина и лёгкого газойля в первичном и вторичном абсорберах соответственно. «Сухой газ» направляется в топливную сеть, а насыщенные абсорбенты подаются на узел «Стабилизация и очистка бензина», после чего фракция углеводородов C3+ поступает на блок разделения сжиженных углеводородных газов «Разделение СУГ» для ректификационного фракционирования и получения целевых пропан-пропиленовой (ППФ) и бутан-бутиленовой (ББФ) фракций.

Принципиальная схема блока разделения СУГ приведена на рисунке 2.

Ректификационная колонна К-06 обеспечивает разделение потока СУГ, подаваемого на 20-ую тарелку (в колонне 37 клапанных тарелок), на ППФ и ББФ фракции. Рассматриваемая нами фракция ППФ отбирается дистиллятом с верха колонны.

Для разработки узла разделения ППФ в моделирующей среде UniSim Design нами были использованы промышленные данные, полученные на действующей установке.

Определение оптимальных конструкционных и режимных параметров проведено на колонне Short Cut Distillation (рисунок 3). Результатом расчётов является формирование пропиленовой (поток ппфВ) и пропановой (поток ппфН) фракций с необходимыми значениями конструкционных и режимных параметров колонны К-доп ШК. Сведения о потоке питания колонны приводятся в таблице 1. Его давление компримировано с 895 кПа до 1750 кПа. Рассчитанные технологические режимы и компонентный состав дистиллята и кубового остатка показаны в таблицах 2, 3. Оценки конструкционных и режимных параметров колонны сведены в таблице 4.

Анализ полученных результатов показывает, что в пропиленовой фракции (дистиллят)

содержание пропилена достигает 99,5% масс. при флегмовом числе $R = 11$, минимальном числе теоретических тарелок $N_{\min} = 62$, актуальном числе тарелок $N_t = 93$ и тарелке питания $N_p = 31$ (таблица 4). При давлении верха и низа колонны $P_{\text{верх}} = 1600$ кПа и $P_{\text{низ}} = 1650$ кПа необходимы температуры в конденсаторе $T_{\text{кон}} = 38,87$ °С и в ребойлере $T_{\text{реб}} = 48,52$ °С.

Результаты и обсуждение

Для расчёта проектируемой ректификационной колонны Кдоп принимаем, что в колонне будут использоваться контактные устройства с эффективностью 0,8. Схема рассчитываемой колонны показана на рисунке 4. Поток пропан-пропиленовой фракции из узла разделения СУГ (поток ППФ-АГФУ) подаётся на 34-ую тарелку, общее количество трёх-поточных клапанных тарелок – 90. Отметим, что поточность колонны определена по результатам расчёта конструкционных параметров колонны. Технологические параметры и компонентный состав потока питания колонн Кдоп и К-доп ШК аналогичны (таблица 1).

В качестве дистиллята отбирается пропиленовая фракция (поток фрС3Н6), кубовый остаток – пропановая фракция (поток фрС3Н8).

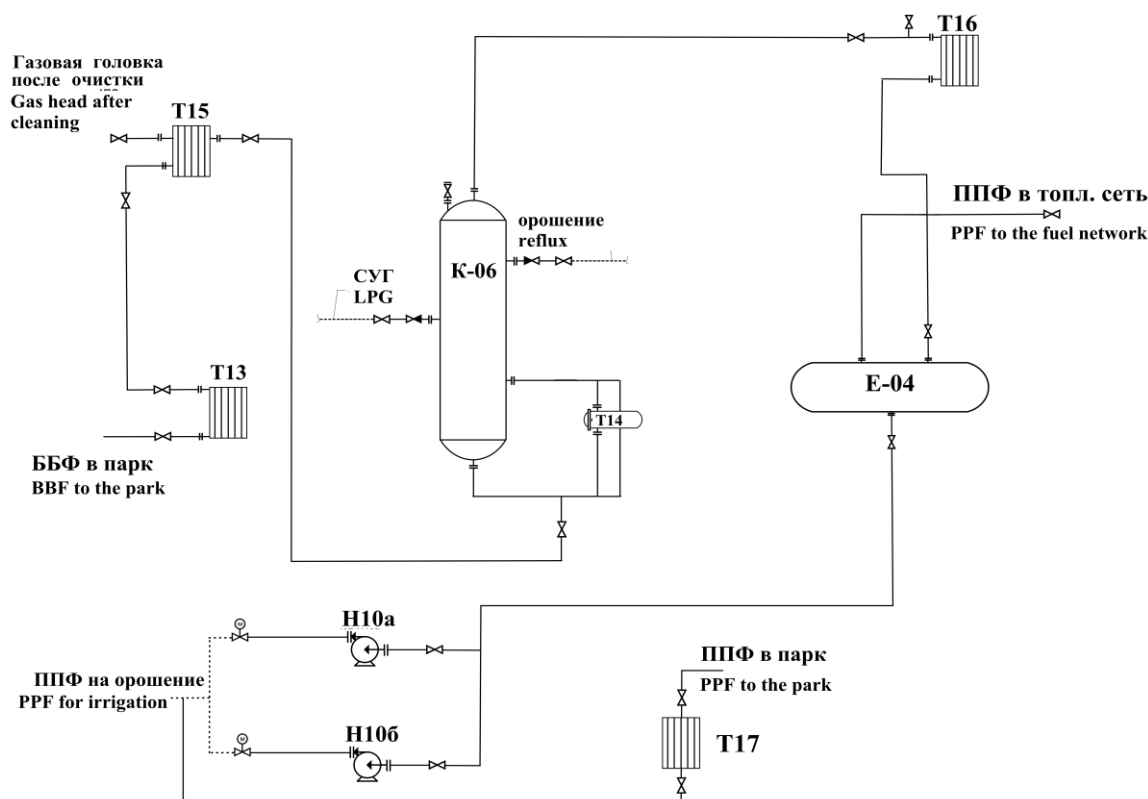


Рисунок 2. Принципиальная схема блока разделения СУГ: T13, T15, T17 – теплообменники; K06 – колонна разделения фракции углеводородов C_3 - C_4 ; E04 – рефлюксная емкость; T16 – конденсатор; T14 – термосифонный ребойлер; H10a, H106 – насосы

Figure 2. Schematic diagram of the LPG separation unit: T13, T15, T17 – heat exchangers; K06 – hydrocarbon fraction C_3 - C_4 rectification column; E04 – reflux tank; T16 – condenser; T14 – thermosiphon reboiler; H10a, H106 – pumps

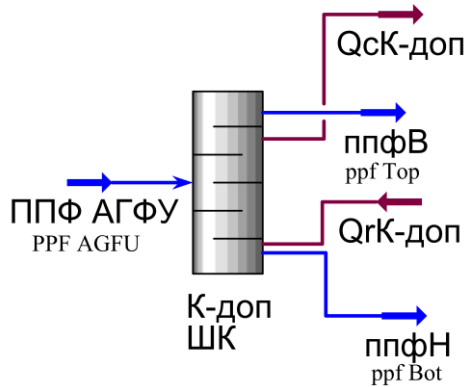


Рисунок 3. Схема колонны Short Cut Distillation
Figure 3. Diagram of the Short Cut Distillation column

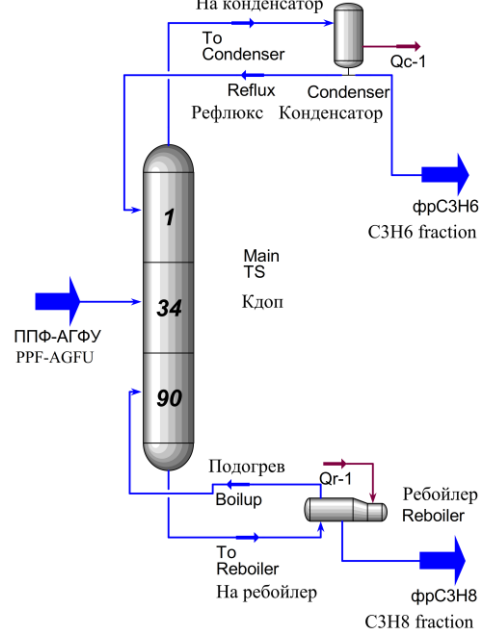


Рисунок 4. Схема ректификационной колонны Кдоп
Figure 4. The scheme of the distillation column Кдоп

Технологические параметры (а) и компонентный состав (б) питания колонны К-доп ШК
(поток ППФ АГФУ)

Table 1.

Technological parameters (a) and component composition (b) supply of the К-доп ШК column
(PPF AGFU flow)

Название потока Stream Name	ППФ АГФУ PPF AGFU
Доля паровой фазы Vapour / Phase Fraction	0,0000
Температура [°C] Temperature [°C]	19,32
Давление [кПа] Pressure [kPa]	1750
Молярный поток [кмоль/ч] Molar Flow [kmole/h]	244,5
Массовый поток [кг/ч] Mass Flow [kg/h]	1,042e+004
Объемный расход [м³/ч] Std Ideal Lig Vol Flow [m³h]	20,14
Молярная энтальпия [кДж/кгмоль] Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2,662e+004
Молярная энтропия [кДж/кгмоль °C] Molar Entropy [kJ/kgmole °C]	118,7
Тепловой поток [кДж/ч] Heat Flow [kJ/h]	-6,508e+006

(a)

Название углеводорода The Name of the hydrocarbon	масс. доля mass fractions
Водород Hydrogen	0,000000
Метан Methane	0,000001
Этан Ethane	0,000007
Этилен Ethylene	0,000001
Пропан Propane	0,252997
Пропилен Propene	0,742993
н-Бутан n-Butane	0,000300
Изобутан i-Butane	0,002400
1-Бутен 1-Butene	0,000500
Изобутен i-Butene	0,000800
н-Пентан n-Pentane	0,000001
Итого Total	1,000000

(b)

Технологические параметры (а) и компонентный состав (б) дистиллята колонны К-доп ШК (поток ппфВ)

Table 2.

Technological parameters (a) and component composition (b) of the distillate of the К-доп ШК column (ppf Top stream)

Название потока Stream Name	ппфВ ppf Top
Доля паровой фазы Vapour / Phase Fraction	0,0000
Температура [°C] Temperature [°C]	38,87
Давление [кПа] Pressure [kPa]	1600
Молярный поток [кмоль/ч] Molar Flow [kmole/h]	184,7
Массовый поток [кг/ч] Mass Flow [kg/h]	7775
Объемный расход [м³/ч] Std Ideal Lig Vol Flow [m³h]	14,93
Молярная энтальпия [кДж/кгмоль] Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	5853
Молярная энтропия [кДж/кгмоль °C] Molar Entropy [kJ/kgmole °C]	107,1
Тепловой поток [кДж/ч] Heat Flow [kJ/h]	1,081e+006

(a)

Название углеводорода The Name of the hydrocarbon	масс. доля mass fractions
Водород Hydrogen	0,000000
Метан Methane	0,000001
Этан Ethane	0,000009
Этилен Ethylene	0,000001
Пропан Propane	0,005238
Пропилен Propene	0,994750
н-Бутан n-Butane	0,000000
Изобутан i-Butane	0,000000
1-Бутен 1-Butene	0,000000
Изобутен i-Butene	0,000000
н-Пентан n-Pentane	0,000000
Итого Total	1,000000

(b)

Таблица 3.

Технологические параметры (а) и компонентный состав (в) кубового остатка колонны **К-доп ШК** (поток **ппфН**)

Table 3.

Technological parameters (a) and component composition (b) of the cubic residue of the **К-доп ШК** column (**ppf Bot** stream)

Название потока Stream Name	ппфН ppf Bot
Доля паровой фазы Vapour / Phase Fraction	0,0000
Температура [°C] Temperature [°C]	48,52
Давление [кПа] Pressure [kPa]	1650
Молярный поток [кмоль/ч] Molar Flow [kmole/h]	59,76
Массовый поток [кг/ч] Mass Flow [kg/h]	2645
Объёмный расход [м³/ч] Std Ideal Lig Vol Flow [m³h]	5,210
Молярная энтальпия [кДж/кгмоль] Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,165e+005
Молярная энтропия [кДж/кгмоль °C] Molar Entropy [kJ/kgmole °C]	183,5
Тепловой поток [кДж/ч] Heat Flow [kJ/h]	-6,963e+006

Название углеводорода The Name of the hydrocarbon	масс. доля mass fractions
Водород Hydrogen	0,000000
Метан Methane	0,000000
Этан Ethane	0,000000
Этилен Ethylene	0,000000
Пропан Propane	0,981384
Пропилен Propene	0,002853
н-Бутан n-Butane	0,001182
Изобутан i-Butane	0,009456
1-Бутен 1-Butene	0,001970
Изобутен i-Butene	0,003152
н-Пентан n-Pentane	0,000004
Итого Total	1,000000

(a)

(b)

Таблица 4.

Оценки конструкционных и режимных параметров колонны **К-доп ШК**

Table 4.

Estimates of structural and operational parameters of the **К-доп ШК** column

Наименование Description	Значение Value
Минимальное флегмовое число Minimum Reflux	6,602
Минимальное число тарелок Minimum Trays	61,95
Актуальное число тарелок Actual Trays	93,48
Оптимальная тарелка питания Optimal Feed	31,55
Нагрузка конденсатора, кДж/ч Condenser Duty, kJ/h	3,293e+007
Нагрузка ребойлера, кДж/ч Reboiler Duty, kJ/h	3,356e+007
Давление в конденсаторе, кПа Condenser pressure, kPa	1600
Давление в ребойлере, кПа Reboiler pressure, kPa	1650
Температура в конденсаторе, °C Condenser temperature, °C	38,87
Температура в ребойлере, °C Reboiler temperature, °C	48,52
Заданное флегмовое число External Reflux	11,00

Расчёты показали, что на ректификационной колонне Кдоп полностью воспроизводятся режимы и компонентные составы технологических потоков, полученные для колонны К-доп ШК и приведенные в таблице 2 и таблице 3.

Температурный профиль по высоте колонны Кдоп показан на рисунке 5. На рисунке 6 показана ASTM D86 разгонка рассчитанных пропиленовой фр.С3Н6 и пропановой фр.С3Н8 фракций. Видно, что на рассматриваемой колонне достигается чёткое разделение ППФ: содержание пропана в пропиленовой фракции составляет не более 0,5% масс. (на графике имеем практически горизонтальную «прямую» выкипания фракции), а содержание пропилена в пропановой фракции не более 0,3% масс. (на графике отклонение от горизонтального положения кривой разгонки объясняется присутствием в питании колонны порядка 1,5%масс. н-бутана, изобутана, 1-бутена, изобутена и

н-пентана, которые после ректификации вошли в состав пропановой фракции).

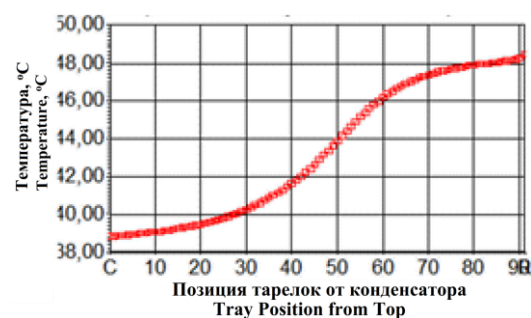
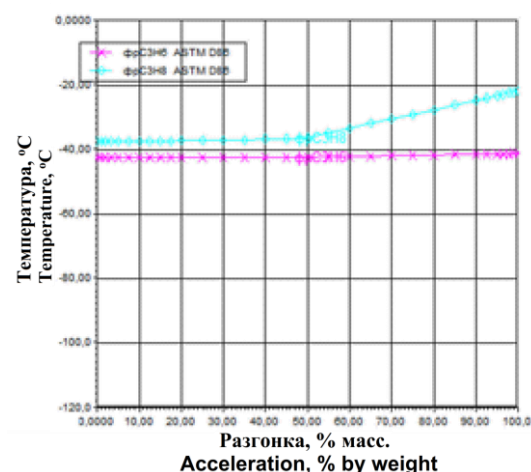
Рисунок 5. Температурный профиль по высоте колонны **Кдоп** (распечатка в моделирующей среде)Figure 5. Temperature profile according to the height of the **Кдоп** column (printout in a modeling environment)

Рисунок 6. ASTM D86 разгонка рассчитанных пропиленовой фр.С3Н6 и пропановой фр.С3Н8 фракций (распечатка в моделирующей среде)

Figure 6. ASTM D86 overlocking of calculated propylene **С3Н6** fraction and propane **С3Н8** fraction (printout in a modeling environment)

В таблице 5 приведены рассчитанные конструкционные параметры колонны Кдоп. Оптимальным для исследуемого узла является: - использование ректификационной колонны с одинаковым диаметром 3 м по её высоте; - применение клапанных трёх-поточных тарелок; - расстояние между тарелками 500 мм.

Расчёты показали, что концентрирование пропилена в пропиленовой фракции выше 99,5% масс. приведёт к заметному увеличению числа тарелок и требуемого диаметра колонны.

Таблица 5.
Рассчитанные конструкционные параметры колонны Кдоп

Table 5.
Calculated structural parameters of the Кдоп column

Тип тарелки Internals	Клапанные Valve
Диаметр [м] Diameter [m]	3,048
Max затопление [%] Max Flooding [%]	79,39
X-поверхность [м ²] X-Area [m ²]	7,297
Высота [м] Height [m]	45,00
ДельтаР [кПа] DeltaP [kPa]	44,00
Поточность Number of Flow Paths	3
Длина потока [мм] Flow Length [mm]	749,3
Ширина потока [мм] Flow Width [mm]	2611
Max DP/тарелка [кПа] Max DP/Tray [kPa]	0,497
Расстояние между тарелками [мм] Tray Spacing [mm]	500,0
Общая длина слива [мм] Total Weir Length [mm]	7476
Высота слива [мм] Weir Height [mm]	50,80
Активная поверхность [м ²] Active Area [m ²]	5,870
Свободное сечение [м ²] Hole Area [m ²]	0,8981

Отметим, что при включении в технологическую схему АГФУ дополнительной колонны Кдоп появляется возможность получить из ППФ пропиленовую и пропановую фракции, которые могут быть реализованы как товарные продукты.

Заключение

Одним из возможных направлений совершенствования АГФУ является расфракционирование целевой ППФ, что позволит получить новые более дорогие и перспективные на рынке товарные углеводородные фракции, использование которых в других химических синтезах даёт возможность повышения селективности процессов и удельной производительности реакционных узлов.

Приведенными результатами исследований показана возможность включения в технологическую схему АГФУ дополнительной ректификационной колонны для выделения из ППФ пропиленовой (содержание пропилена 99,5% масс.) и пропановой (содержание пропана 98,1% масс.). Рассчитаны и приведены оптимальные технологические и конструкционные параметры ректификационной колонны Кдоп, обеспечивающей чёткое разделение пропиленовой и пропановой фракций.

Модель ректификационной колонны может использоваться для оценки режимных и конструкционных параметров при её промышленном проектировании. Включение предлагаемой колонны в технологическую схему АГФУ FCC позволит получить на предприятии дополнительную экономическую выгоду.

Литература

- 1 Ершов Д.С., Хафизов А.Р., Мустафин И.А., Станкевич К.Е. и др. Современное состояние и тенденции развития процесса каталитического крекинга // *Фундаментальные исследования*. 2017. № 12. С. 282-285.
- 2 Ганцев А.В., Виниченко М.В. Современное состояние и перспективы развития процесса каталитического крекинга нефтяного сырья // *Universum: Химия и биология*. 2019. № 12(66). URL: <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/8266>
- 3 Голубева И.А., Крючков М.В. Нефтегазохимия в России: состояние, проблемы, перспективы развития // *Химия и технология топлив и масел*. 2021. № 1. С. 49-56.
- 4 Khande A.R., Dasila P.K., Majumder S., Maity P. et al. Recent developments in FCC process and catalysts // *Catalysis for Clean Energy and Environmental Sustainability: Petrochemicals and Refining Processes-Volume 2*. 2021. P. 65-108. doi: 10.1007/978-3-030-65021-6_3
- 5 Wang Y.-Z. Solubility Parameters of Poly (sulfonyldiphenylene phenylphosphonate) and Its Miscibility with Poly (ethylene terephthalate) // *Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics*. 2013. V. 41. P. 2296-2301. doi: 10.1002/polb.10516
- 6 Xue G., Ji G., Yan H. Morphology and Molecular Motion of Poly (ethylene terephthalate) in Polymer/Oligomer Gel // *Macromolecules*. 2017. V. 31. P. 7706-7711. doi: 10.1021/ma9802576
- 7 Mamudu A., Elehinafe F., Ishola F., Okoro E. et al. Maximizing Olefins Production from Fluid Catalytic Cracking (FCC) Unit Using Zsm-05 Catalyst for the Nigerian Petrochemical Industry // *The United Nations and Sustainable Development Goals*. 2022. P. 205-221. doi: 10.1007/978-3-030-95971-5_16
- 8 Прозорова О.Б., Бурханова Л.Б., Музирова Р.Р., Худайгулова Г.А. Вовлечение пропан-пропиленовой фракции установки каталитического крекинга в сырьё блока газоразделения производства этилена и пропилена // *Электронный научный журнал Нефтегазовое дело*. 2019. № 6. С. 134-149. doi: 10.17122/ogbus-2019-6-134-149
- 9 Артамонова К.В., Прозорова О.Б., Лихачева Н.А., Прозорова С.Ю. Пропан-пропиленовая фракция каталитического крекинга как дополнительный источник сырья для получения пропилена // *Электронный научный журнал Нефтегазовое дело*. 2021. № 3. С. 93-109. doi: 10.17122/ogbus-2021-3-93-109
- 10 Mammadov Z.A. The use of c1-c4 fractions obtained in catalytic cracking and gradual coking units as raw materials for the production of ethylene and propylene in ep-300 complex // *PPOR*. 2023. V. 24. № 3. P. 535-541.

- 11 Seabra R., Dias R.O., Regufe M.J., Ribeiro A.M. et al. Propane and Propylene Separation with Carbon Dioxide at Mild Temperatures by Gas-Phase Simulated Moving Bed in Binderfree Zeolite 13X // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2023. V. 62. №. 32. P. 12600-12612.
- 12 Cruz Valdez J.A., Aviles Martinez A., Vallejo Montesinos J., Perez E. et al. Maximizing Propylene Separation from Propane by Extractive Distillation with Aqueous N-Methyl-2-pyrrolidone as Separating Agent // *Chemical Engineering & Technology*. 2021. V. 44. №. 9. P. 1726-1736. doi: 10.1002/ceat.202100203
- 13 Oliveira-Silva E., de Prada C., Navia D. Simulation platform of an industrial propylene-propane splitter integrated to Advanced Process Control for Real Time Optimization experiments // *IFAC-PapersOnLine*. 2022. V. 55. №. 7. P. 673-678.
- 14 Пат. № 2296736, RU, C07C 7/05, 11/06, 9/08. Способ разделения пропена и пропана / Павлов О.С., Павлов Д.С., Павлов С.Ю. № 20036104239/04; Заявл. 13.02.2006; Опубл. 10.04.2007, Бюл. №10.
- 15 Пат. № 2733380, RU, C07C 7/05, 9/08. Способ выделения пропилена из пропан пропиленовой фракции / Белов Е.А., Белов А.А., Зарипов Р.Т., Минигулов Ф.Г., Сафин Д.Х. № 2020115055; Заявл. 29.04.2020; Опубл. 01.10.2020, Бюл. №28.
- 16 Лошманов С.В., Попов С.В., Хабибрахманова О.В. Оптимизация содержания пропилена в пропан-пропиленовой фракции, подаваемой на алкилирование бензола с целью получения изопропилбензола // *Вестник ВГУИТ*. 2022. Т. 84. №4. С. 157-167. doi: 10.20914/2310-1202-2022-4-157-164
- 17 Palos R., Gutiérrez A., Fernández M.L., Trueba D. et al. Upgrading of heavy coker naphtha by means of catalytic cracking in refinery FCC unit // *Fuel processing technology*. 2020. V. 205. P. 106454.
- 18 Alabdullah M.A., Gomez A.R., Vittenet J., Bendjeriou-Sedjerari, A. et al. A viewpoint on the refinery of the future: catalyst and process challenges // *ACS Catalysis*. 2020. V. 10. №. 15. P. 8131-8140. doi: 10.1021/acscatal.0c02209
- 19 Alotibi M.F., Alshammari B.A., Alotaibi M.H., Alotaibi F.M. et al. ZSM-5 zeolite based additive in FCC process: A review on modifications for improving propylene production // *Catalysis Surveys from Asia*. 2020. V. 24. P. 1-10. doi: 10.1007/s10563-019-09285-1
- 20 Le-Phuc N., Tran T.V., Phan T.T., Ngo P.T. et al. Efficient processing of crude oil using direct cracking at high temperatures over modified FCC catalysts // *Petroleum Science and Technology*. 2023. V. 41. №. 24. P. 2391-2401.

References

- 1 Ershov D.S., Khafizov A.R., Mustafin I.A., Stankevich K.E. and others. Current state and development trends of the catalytic cracking process // *Fundamental Research*. 2017. No. 12. pp. 282-285.
- 2 Gantsev A.V., Vinichenko M.V. Current state and prospects for the development of the process of catalytic cracking of petroleum feedstock. *Universum: Chemistry and biology*. 2019. no. 12(66). Available at: <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/8266> (in Russian).
- 3 Golubeva I.A., Kryuchkov M.V. Petroleum and gas chemistry in Russia: status, problems, development prospects. *Chemistry and technology of fuels and oils*. 2021. no. 1. pp. 49-56. (in Russian).
- 4 Khande A.R., Dasila P.K., Majumder S., Maity P. et al. Recent developments in FCC process and catalysts. *Catalysis for Clean Energy and Environmental Sustainability: Petrochemicals and Refining Processes-Volume 2*. 2021. pp. 65-108. doi: 10.1007/978-3-030-65021-6_3
- 5 Wang Y.-Z. Solubility Parameters of Poly (sulfonyldiphenylene phenylphosphonate) and Its Miscibility with Poly (ethylene terephthalate). *Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics*. 2013. vol. 41. pp. 2296-2301. doi: 10.1002/polb.10516
- 6 Xue G., Ji G., Yan H. Morphology and Molecular Motion of Poly (ethylene terephthalate) in Polymer/Oligomer Gel. *Macromolecules*. 2017. vol. 31. pp. 7706-7711. doi: 10.1021/ma9802576
- 7 Mamudu A., Elehinafe F., Ishola F., Okoro E. et al. Maximizing Olefins Production from Fluid Catalytic Cracking (FCC) Unit Using Zsm-05 Catalyst for the Nigerian Petrochemical Industry. *The United Nations and Sustainable Development Goals*. 2022. pp. 205-221. doi: 10.1007/978-3-030-95971-5_16
- 8 Prozorova O.B., Burkhanova L.B., Muzirov R.R., Khudaygulova G.A. Involvement of the propane-propylene fraction of the catalytic cracking unit in the raw materials of the gas separation unit for the production of ethylene and propylene. *Electronic scientific journal Oil and Gas Business*. 2019. no. 6. pp. 134-149. doi: 10.17122/ogbus-2019-6-134-149 (in Russian).
- 9 Artamonova K.V., Prozorova O.B., Likhacheva N.A., Prozorova S.Yu. Propane-propylene fraction of catalytic cracking as an additional source of raw materials for the production of propylene. *Electronic scientific journal Oil and Gas Business*. 2021. no. 3. pp. 93-109. doi: 10.17122/ogbus-2021-3-93-109 (in Russian).
- 10 Mammadov Z.A. The use of c1-c4 fractions obtained in catalytic cracking and gradual coking units as raw materials for the production of ethylene and propylene in ep-300 complex. *PPOR*. 2023. vol. 24. no. 3. pp. 535-541.
- 11 Seabra R., Dias R.O., Regufe M.J., Ribeiro A.M. et al. Propane and Propylene Separation with Carbon Dioxide at Mild Temperatures by Gas-Phase Simulated Moving Bed in Binderfree Zeolite 13X. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2023. vol. 62. no. 32. pp. 12600-12612.
- 12 Cruz Valdez J.A., Aviles Martinez A., Vallejo Montesinos J., Perez E. et al. Maximizing Propylene Separation from Propane by Extractive Distillation with Aqueous N-Methyl-2-pyrrolidone as Separating Agent. *Chemical Engineering & Technology*. 2021. vol. 44. no. 9. pp. 1726-1736. doi: 10.1002/ceat.202100203
- 13 Oliveira-Silva E., de Prada C., Navia D. Simulation platform of an industrial propylene-propane splitter integrated to Advanced Process Control for Real Time Optimization experiments. *IFAC-PapersOnLine*. 2022. vol. 55. no. 7. pp. 673-678.
- 14 Pavlov O.S., Pavlov D.S., Pavlov S.Yu. Method for separating propene and propane. Patent RF, no. 2296736, 2007.
- 15 Belov E.A., Belov A.A., Zariyov R.T., Minigulov F.G., Safin D.Kh. Method for isolating propylene from propane-propylene fraction. Patent RF, no. 2733380, 2020.

16 Loshmanov S.V., Popov S.V., Khabibrakhmanova O.V. Optimization of the propylene content in the propane-propylene fraction fed to the alkylation of benzene to obtain isopropylbenzene. *Proceedings of VSUET*. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 157-167. doi: 10.20914/2310-1202-2022-4-157-164 (in Russian).

17 Palos R., Gutiérrez A., Fernández M.L., Trueba D. et al. Upgrading of heavy coker naphtha by means of catalytic cracking in refinery FCC unit. *Fuel processing technology*. 2020. vol. 205. pp. 106454.

18 Alabdullah M.A., Gomez A.R., Vittenet J., Bendjeriou-Sedjerari, A. et al. A viewpoint on the refinery of the future: catalyst and process challenges. *ACS Catalysis*. 2020. vol. 10. no. 15. pp. 8131-8140. doi: 10.1021/acscatal.0c02209

19 Alotibi M.F., Alshammari B.A., Alotaibi M.H., Alotaibi F.M. et al. ZSM-5 zeolite based additive in FCC process: A review on modifications for improving propylene production. *Catalysis Surveys from Asia*. 2020. vol. 24. pp. 1-10. doi: 10.1007/s10563-019-09285-1

20 Le-Phuc N., Tran T.V., Phan T.T., Ngo P.T. et al. Efficient processing of crude oil using direct cracking at high temperatures over modified FCC catalysts. *Petroleum Science and Technology*. 2023. vol. 41. no. 24. pp. 2391-2401.

Сведения об авторах

Сергей В. Попов к.т.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, svpopov2018@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-0533-9049>

Нина А. Плешакова к.т.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, napleshakova63@ya.ru

Рафаэль А. Махмудов магистрант, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, svpopov2018@ya.ru

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Sergey V. Popov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, svpopov2018@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0533-9049>

Nina A. Pleshakova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, napleshakova63@ya.ru

Rafael A. Makhmudov master student, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, svpopov2018@ya.ru

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 17/01/2024	После редакции 14/02/2024	Принята в печать 01/03/2024
Received 17/01/2024	Accepted in revised 14/02/2024	Accepted 01/03/2024

Оптимизация технологических режимов колонны разделения продуктов реакции на установке изомеризации лёгких парафинов

Олег Ю. Лямаев¹ svpopov2018@ya.ru
Сергей В. Попов¹ svpopov2018@ya.ru  0000-0003-0533-9049

¹ Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия

Аннотация. Процессом изомеризации легких бензиновых фракций синтезируют ценные компоненты для экологически чистых автомобильных бензинов. В продуктах реакции изомеризации наряду с целевыми высокооктановыми углеводородами содержатся низкоразветвленные C₆-углеводороды, присутствие которых снижает октановое число изомеризата, поэтому в промышленных условиях целесообразно их выделение из реакционной массы с целью рециркулирования в сырьевой поток реактора как одних из исходных реагентов процесса. В промышленных условиях низкоразветвленные парафиновые C₆ углеводороды отбираются в колонне–деизогексанизаторе боковым погоном. Сложность разделения компонентов изомеризата объясняется их достаточно близкими температурами кипения. В работе проводится оптимизация технологического режима работы колонны–деизогексанизатора с целью максимального извлечения данных компонентов в рецикл. Исследования проводили с использованием моделирующей программы Honeywell Unisim Design. Термодинамические свойства потоков рассчитывались по методу Пенга–Робинсона. Выполненными расчётами установлены технологические параметры колонны, которые обеспечивают практически полное извлечение в боковой погон нормального гексана и метилпентанов в количестве 99,99 и 99,72% масс. соответственно, при этом конструкционные параметры колонны–деизогексанизатора не менялись. Достижимое увеличение количества сырьевых углеводородов в боковом погоне делает целесообразным использование в технологической схеме установки дополнительной колонны–деизопентанизатора с целью вывода изопентана из сырья реакторного блока изомеризации. Приводится фрагмент технологической схемы установки с включением колонны–деизопентанизатора с её оптимальными технологическими и конструкционными параметрами. Суммарный расчётный эффект от предложенных решений в виде увеличения октанового числа изомеризата составил 1,9 пунктов.

Ключевые слова: изомеризация, октановое число, колонна деизогексанизатор, колонна деизопентанизатор, моделирование, Honeywell UniSim Design

Optimization of technological modes of the reaction product separation column at the light paraffin isomerization plant

Oleg Yu. Lyamaev¹ svpopov2018@ya.ru
Sergey V. Popov¹ svpopov2018@ya.ru  0000-0003-0533-9049

¹ Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia

Abstract. By the process of isomerization of light gasoline fractions, valuable components for environmentally friendly gasoline are synthesized. The products of the isomerization reaction, along with the target high-octane hydrocarbons, contain low-branched C₆ hydrocarbons, the presence of which reduces the octane number of the isomerizate, therefore, in industrial conditions it is advisable to separate them from the reaction mass in order to recycle them into the reactor feed stream as one of the initial reactants of the process. In industrial conditions, low-branched paraffin C₆ hydrocarbons are selected in a deisohexanizer column by a side run. The difficulty of separating the isomerizate components is explained by their relatively close boiling points. The work optimizes the technological mode of operation of the deisohexanizer column in order to maximize the extraction of these components into the recycle. The research was carried out using the Honeywell Unisim Design modeling program. The thermodynamic properties of the flows were calculated using the Peng-Robinson method. The calculations performed have established the technological parameters of the column, which ensure almost complete extraction of normal hexane and methylpentanes in the lateral shoulder strap in the amount of 99.99% by weight and 99.72% by weight. Accordingly, the structural parameters of the deisohexanizer column did not change. The achieved increase in the amount of raw hydrocarbons in the lateral pursuit makes it advisable to use an additional deisopentanizer column in the technological scheme of installation in order to remove isopentane from the raw materials of the isomerization reactor unit. A fragment of the technological scheme of the installation with the inclusion of a deisopentanizer column with its optimal technological and structural parameters is presented. The total calculated effect of the proposed solutions in the form of an increase in the octane number of isomerizate was 1.9 points.

Keywords: isomerization, octane, deisohexanizer column, deisopentanizer column, modeling, Honeywell UniSim Design

Для цитирования

Лямаев О.Ю., Попов С.В. Оптимизация технологических режимов колонны разделения продуктов реакции на установке изомеризации лёгких парафинов // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 227–234. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-227-234

For citation

Lyamaev O.Yu., Popov S.V. Optimization of technological modes of the reaction product separation column at the light paraffin isomerization plant. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 227–234. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-227-234

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Процесс изомеризации легких бензиновых фракций является неотъемлемой частью технологической схемы современного нефтеперерабатывающего предприятия. Изомеризаты – ценные компоненты при производстве экологически чистых автомобильных бензинов. Введение их в состав товарных автобензинов способствует снижению в них содержания ароматических углеводородов, в том числе бензола, повышению детонационной стойкости и выравниванию октановых чисел по всей его массе (устранению «октановой ямы»), а также уменьшению разности (чувствительности) между октановыми числами по исследовательскому и моторному методам.

В связи с возрастанием роли процессов изомеризации в производстве бензинов актуальным является разработка методов совершенствования данной технологии в различных направлениях исследований [1].

В последнее время большое внимание уделяется переводу процессов изомеризации с хлорсодержащими катализаторами на сульфатированные оксид-циркониевые [1, 2]. В частности, сведения об успешной замене процесса Repex на Изомалк-2 приводятся в [3]. В работе [4] описана технология проведения процесса изомеризации на сульфатированном катализаторе СИ-2Б с подачей водорода на проток, что позволяет выполнять замену хлорированных катализаторов без изменения аппаратного оформления установки, при этом сокращаются эксплуатационные затраты на циркуляцию водородсодержащего газа (ВСГ).

Октановое число изомеризата во многом зависит от схемы разделения продуктов реакции и степени рециркуляции непревращенных нормальных парафиновых углеводородов. В исследовании [5] представлен способ повышения технико-технологических показателей изомеризации реконструкцией колонны-деизогексанизатора с выводом 4 потоков: верхний продукт – пентаны, боковые погоны – высоко- и низкоразветвленные гексаны, кубовый продукт – остаток. Данный вариант оформления колонны деизогексанизации применяется в промышленности под наименованием «Супер-ДИГ». В статье [6] описан метод разделения продуктов реакции адсорбционной депарафинизацией. В патенте [7] описан способ разделения исходного сырья изомеризации с выделением пентановой и гексановой фракций, направляемые раздельно в два параллельно работающих реактора, продукты которых далее объединяются и направляются на разделение на компоненты изомеризации и рециклов. В исследовании [8] в качестве альтернативы применению обычной дистилляции предлагается технология адсорбционного разделения для изомеризационного рафинирования с использованием динамической

модели имитируемого движущегося слоя, обеспечивающая эффективное разделение высокооктановых и низкооктановых компонентов.

В ряде работ рассматриваются вопросы увеличения сырьевой базы процесса изомеризации. В патенте [9] предложены варианты охлаждения реакторов при переработки прямогонного сырья с легким риформатом вторичных бензиновых фракций. В [10] описано изобретение переработки бензиновой фракции на установке с совмещенными процессами изомеризации и платформинга.

В большом количестве исследований оценивается возможность использования суперкислот в качестве катализаторов. В патенте [11] предлагается способ повышения активности циркониевых катализаторов добавлением в состав композиции сернокислотных ионов, в статье [12] процесс изомеризации проводится на твердых суперкислотных поликомплексах d-металлов, которые более устойчивы к воздействию влаги, чем традиционные катализаторы. В работе [13] в качестве катализатора предлагается ионная жидкость, иммобилизованная на поверхности цеолитных катализаторов.

Актуальным является применение программных сред моделирования технологических процессов, обладающих широкими возможностями для анализа влияния различных факторов на технико-экономические показатели работы аппаратов. В статье [14] представлены результаты оптимизации процесса изомеризации, полученные с помощью модели HYSYS-IZOMER. В работе [15] с использованием программной среды Aspen HYSYS исследуется аппаратное оформление установки изомеризации для повышения октанового числа с наименьшими затратами. В исследовании [16] выполнено моделирование процесса изомеризации и проведена оптимизация выхода высокооктановых компонентов. В патенте [17] способ выделения пентанового рецикла в виде бокового погона с применением стриппинг-секции рассчитан с использованием Unisim Design.

Практический интерес представляют вопросы подбора оптимальных параметров и улучшение существующих режимов работы блоков разделения продуктов и сырья изомеризации на компоненты с использованием моделирующих сред. В статье [18] с использованием программы Unisim Design проведено исследование по определению параметров технологического режима колонны деизопентанизатора с извлечением изопентана выше 99 %мас.

Цель работы – оптимизация технологических режимов колонны – деизогексанизатора установки низкотемпературной изомеризации ПГИ-ДИГ с целью максимального увеличения отбора в боковой погон низкоразветвленных парафиновых C₆ углеводородов.

Методы

На рисунке 1 представлен фрагмент технологической схемы установки низкотемпературной изомеризации с колонной деизогексанизации (ДИГ). Питанием колонны-деизогексанизатора С-202 является стабильный катализат, содержащий продукты реакции изомеризации.

В соответствии с технологической схемой установки стабильный изомеризат поступает из колонны С-201 (на рисунке не показано) на тарелку питания № 55 колонны ДИГ С-202, где происходит его разделение на верхний продукт, содержащий бутаны, пентаны и диметилбутаны, боковой погон, содержащий метилпентаны и нормальный гексан, и нижний продукт, содержащий нафтенy и C_{7+} углеводороды. Балансовые количества дистиллята и кубового продукта объединяются и после охлаждения выводятся с установки в товарный парк на компаундирование бензина. Боковой погон в виде рецикла направляется на объединение с гидроочищенным сырьем изомеризации. В таблице 1 представлен промышленный усредненный состав питания колонны ДИГ.

Из таблицы 1 видно, что в составе потока сырья содержится 11,10 %мас. н-гексана и 34,08 %мас. суммы метилпентанов. Наиболее желательным является полное извлечение данных компонентов в рецикл (боковой погон ДИГ)

ввиду того, что они являются целевыми компонентами исходного сырья реакции изомеризации, при этом присутствие данных углеводородов в изомеризате приводит к ухудшению его эксплуатационных свойств ввиду низких детонационных характеристик: октановое число (ОЧ) нормального гексана – 24,8 пунктов, 2-метилпентана и 3-метилпентана – 73,4 и 74,5 пунктов соответственно.

В промышленных условиях фактическое извлечение н-гексана в рецикл составляет 98,0 %мас., метилпентанов (МП) – 82,5 %мас. Исходя из вышеизложенного можно отметить, что практический интерес представляет оценка оптимальных технологических режимов колонны ДИГ с целью максимального извлечения и дальнейшего рециркулирования малоразветвленных C_6 алканов.

Исследования проводили с использованием моделирующей программы Honeywell UniSim Design. В качестве математического пакета для расчета термодинамических свойств потоков использовался метод Пенга-Робинсона [19, 20].

Результаты и обсуждение

В результате проведенного расчёта в моделирующей среде определён технологический режим работы колонны ДИГ со степенью извлечения н-гексана из сырья в боковой погон – 99,99 %масс., 2-МП и 3-МП – 99,72 %масс.

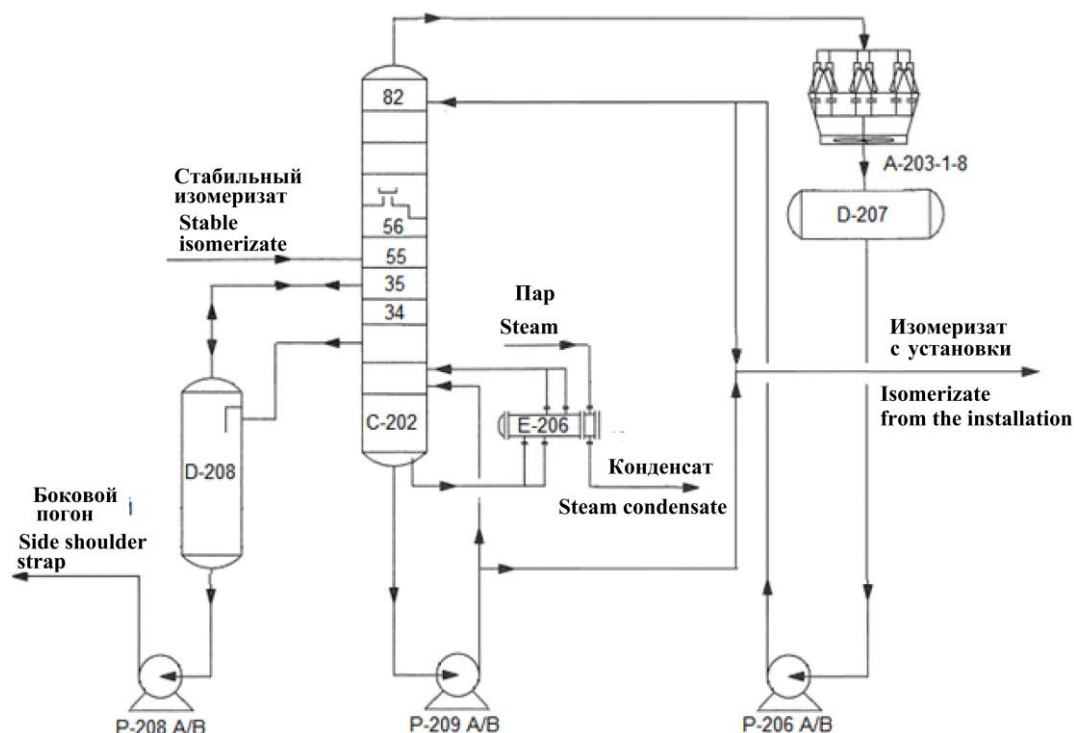


Рисунок 1. Фрагмент технологической схемы установки низкотемпературной изомеризации
Figure 1. A fragment of the technological scheme of a low-temperature isomerization plant

Таблица 1.

Компонентный состав потока питания колонны ДИГ

Table 1.

Component composition of the supply stream of the DIH column

Наименование компонента Name of the component	Содержание компонента, %масс. Component content, % by weight	Октановое число Octane number
Изобутан Isobutane	0,17	101,1
н-Бутан n-Butane	0,09	93,6
Изопентан Isopentane	8,77	92,3
н-Пентан n-Pentane	4,16	61,7
Циклопентан Cyclopentane	0,73	101
2,2-диметилбутан 2,2-dimethylbutane	11,45	91,8
2,3-диметилбутан 2,3-dimethylbutane	7,20	103,5
2-метилпентан 2-methylpentane	22,75	73,4
3-метилпентан 3-methylpentane	14,02	74,5
н-Гексан n-Hexane	11,10	24,8
Метилциклопентан Methylcyclopentane	5,75	91,3
Циклогексан Cyclohexane	7,07	83
Бензол Benzene	0,00	117
Метилциклогексан Methylcyclohexane	1,65	75
C7-углеводороды C7-hydrocarbons	5,09	0
Всего Total	100,00	-

Значения рассчитанных технологических параметров потоков колонны приведены в таблице 2. Сравнение фактического и рассчитанного параметров работы колонны ДИГ представлено в таблице 3.

Оценка конструкционных параметров колонны ДИГ для рассчитанного технологического режиме (таблица 4) показывает, что процесс можно проводить на фактических конструкции и геометрии колонны ДИГ, при этом изменение

состава сырья не вызывает отклонения от устойчивой работы тарелок. Рассчитанный профиль температур по высоте колонны представлен на рисунке 2.

Положительным эффектом от проведенной оптимизации режима колонны ДИГ является увеличение октанового числа изомеризата на 1 пункт: при фактическом режиме ОЧ составляет 86 пунктов по исследовательскому методу, на расчётном режиме – 87 пунктов.

Таблица 2.

Значения технологических параметров потоков колонны ДИГ

Table 2.

Values of technological parameters of the DIH column flows

Название потока Stream Name	Верхний-продукт Top-product	Боковой погон Side shoulder strap	Нижний-продукт Bottom-product
Доля паровой фазы Vapour / Phase Fraction	0,0000	0,0002	0,0000
Температура [°C] Temperature [°C]	50,72	90,80	122,9
Давление [кПа] Pressure [kPa]	176,5	217,2	245,2
Молярный поток [кмоль/ч] Molar Flow [kmole/h]	262,9	415,1	32,94
Массовый поток [кг/ч] Mass Flow [kg/h]	2,000e+004	3,571e+004	3050
Объёмный расход [м³/ч] Std Ideal Lig Vol Flow [m³/h]	31,43	52,89	4,145
Молярная энтальпия [кДж/кгмоль] Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,816e+005	-1,820e+005	-1,679e+005
Молярная энтропия [кДж/кгмоль °C] Molar Entropy [kJ/kgmole °C]	59,75	9,134	-7,508
Тепловой поток [кДж/ч] Heat Flow [kJ/h]	-4,775e+007	-7,554e+007	-5,531e+006

Таблица 3.

Фактический и расчётный режимы работы колонны ДИГ

Table 3.

The actual and calculated operating modes of the DIH column

Параметры технологического режима Parameters of the technological regime	Фактический режим The actual mode	Расчётный режим Settlement mode
Температура на входе в колонну, °C Temperature at the entrance to the column, °C	89–102	80
Температура верха колонны, °C Column top temperature, °C	72–77	54,6
Температура куба колонны, °C The temperature of the column cube, °C	119–120	120,9
Давление верха колонны, кгс/см² Column top pressure, kgf/cm²	1,80	1,80
Давление низа колонны, кгс/см² Column bottom pressure, kgf/cm²	2,50	2,50
Флегмовое число Phlegm number	5,2–6,9	9,131
Расход дистиллята, м³/ч Distillate consumption, m³/h	35–45	50,72
Расход кубового продукта, м³/ч Consumption of cubic product, m³/h	3,5–9,0	4,146
Расход орошения, м³/ч Irrigation consumption, m³/h	250–265	287,0
Расход бокового погона, м³/ч Side shoulder strap consumption, m³/h	42–47,5	52,89

Следует отметить, что подобранный технологический режим подразумевает увеличение количества бокового погона по сравнению с фактическим до $53 \text{ м}^3/\text{ч}$ (таблица 3). Согласно технологической схеме установки (рисунок 1) боковой погон колонны ДИГ объединяется с гидрогенизатором секции гидроочистки. Расход объединенного сырья регламентируется верхним пределом $100 \text{ м}^3/\text{ч}$. При этом его расход при оптимизированном режиме колонны ДИГ составил $106,1 \text{ м}^3/\text{ч}$, что превышает нормативные значения и увеличивает нагрузку на реакторный блок секции изомеризации.

Для решения данной проблемы предлагается «снять» часть гидрогенизата на секцию изомеризации включением в технологическую схему колонны-деизопентанизатора (ДИП).

С целью оценки потенциальной возможности снижения расхода объединенного сырья изомеризации рассчитаны параметры режима работы установки с колонной ДИП. Схема в моделирующей среде, включающая колонну ДИП, представлена на рисунке 3. Гидрогенизат поступает из отпарной колонны С-101 (на схеме не показана) в колонну ДИП, где разделяется на дистиллят, содержащий изопентан и бутаны, и кубовый продукт, содержащий н-пентан, циклопентан и C_{6+} углеводороды.

Нижний продукт ДИП после объединения с рециклом направляется в виде сырья на секцию изомеризации, дистиллят – в «товарный» изомеризат.

Включение колонны ДИП в схему установки также позволяет увеличивать выход целевых продуктов изомеризации (разветвленных C_5 и C_6 углеводородов) из-за снижения концентрации изопентана в сырье.

При моделировании использовались следующие конструкционные и режимные параметры колонны: число тарелок $N_T=80$, тарелка питания $N_{\text{пит}}=33$, эффективность контактного

устройства 0,8, температура в конденсаторе $T_{\text{конд}}=23^\circ\text{C}$, температура в ребойлере $T_{\text{реб}}=62^\circ\text{C}$, давление верха $P_{\text{верх}}=101,3 \text{ кПа}$, $P_{\text{низ}}=130 \text{ кПа}$ [18]. Расход гидрогенизата принят фактический.

Значения рассчитанных технологических параметров и компонентный состав потоков колонны ДИП приведены в таблице 5.

Таблица 4.

Расчётные конструкционные параметры колонны ДИГ

Table 4.

Calculated structural parameters of the DIH column

Тип тарелки Internals	Клапанные Valve
Диаметр [м] Diameter [m]	3,810
Мак затопление [%] Max Flooding [%]	83,11
X-поверхность [м ²] X-Area [m ²]	11,40
Высота [м] Height [m]	49,99
ДельтаР [кПа] DeltaP [kPa]	65,41
Поточность Number of Flow Paths	3
Длина потока [мм] Flow Length [mm]	1054
Ширина потока [мм] Flow Width [mm]	3196
Мак DP/тарелка [кПа] Max DP/Tray [kPa]	0,876
Расстояние между тарелками [мм] Tray Spacing [mm]	609,6
Общая длина слива [мм] Total Weir Length [mm]	9001
Высота слива [мм] Weir Height [mm]	50,80
Активная поверхность [м ²] Active Area [m ²]	10,11
Свободное сечение [м ²] Hole Area [m ²]	1,546

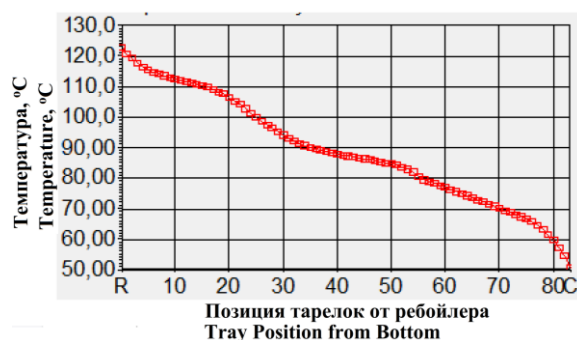


Рисунок 2. График изменения температуры по высоте колонны ДИГ при рассчитанных параметрах
Figure 2. Graph of temperature changes in the height of the DIH column at the calculated parameters (printout in the modeling program)

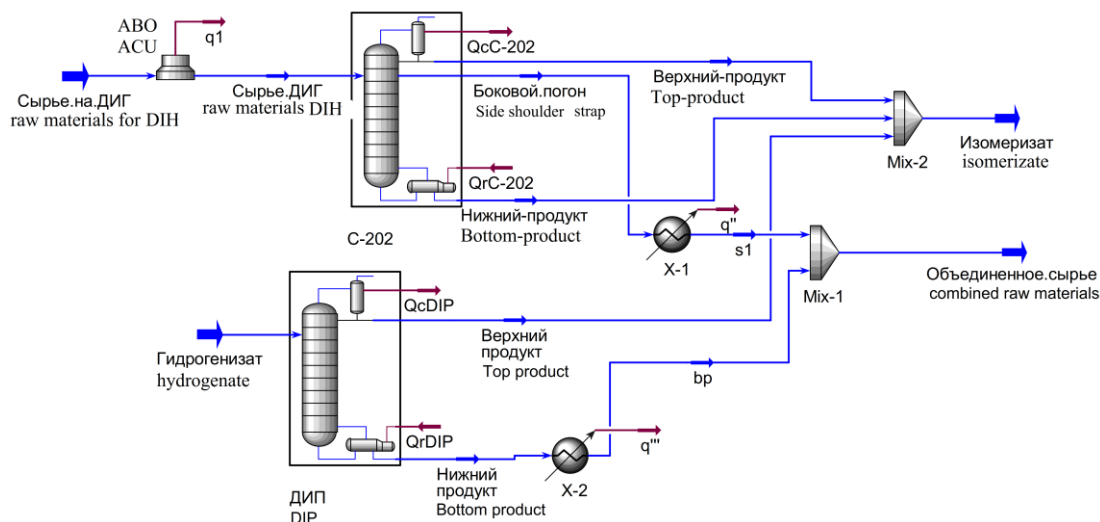


Рисунок 3. Технологическая схема, включающая колонну ДИП

Figure 3. Flow diagram including the DIP column

Таблица 5.

Значения технологических параметров (а) и компонентный состав (б) потоков колонны ДИП

Table 5.

The values of the technological parameters (a) and the component composition (b) of the column flows

Название потока Stream Name	Гидрогенизат Hydrogenate	Верхний продукт Top product	Нижний продукт Bottom product
Доля паровой фазы Vapour / Phase Fraction	0,0000	0,0002	0,0000
Температура [°C] Temperature [°C]	52,00	23,08	61,97
Давление [кПа] Pressure [kPa]	402,1	101,3	130,0
Молярный поток [кмоль/ч] Molar Flow [kmole/h]	441,3	89,86	351,4
Массовый поток [кг/ч] Mass Flow [kg/h]	3,510e+004	6351	2,875e+004
Объёмный расход [м³/ч] Std Ideal Lig Vol Flow [m³h]	53,21	10,25	42,96
Молярная энтальпия [кДж/кгмоль] Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,744e+005	-1,766e+005	-1,731e+005
Молярная энтропия [кДж/кгмоль °C] Molar Entropy [kJ/kgmole °C]	44,02	40,17	41,71
Тепловой поток [кДж/ч] Heat Flow [kJ/h]	-7,694e+007	-1,587e+007	-6,084e+007

(a)

Название углеводорода The Name of the hydrocarbon	Гидрогенизат Hydrogenate масс. доля mass fractions	Верхний продукт масс. доля Top product mass fractions	Нижний продукт масс. доля Bottom product mass fractions
Изобутан Isobutane	0,000200	0,001105	0,000000
н-Бутан n-Butane	0,015397	0,085088	0,000000
Изопентан Isopentane	0,165467	0,912977	0,000318
н-Пентан n-Pentane	0,227654	0,000830	0,277767
н-Гексан n-Hexane	0,173965	0,000000	0,212400
н-Гептан n-Heptane	0,062887	0,000000	0,076781
Бензол Benzene	0,016097	0,000000	0,019653
Циклогексан Cyclohexane	0,030794	0,000000	0,037597
Циклопентан Cyclopentane	0,019896	0,000000	0,024292
Метилциклопентан Methylcyclopentane	0,059988	0,000000	0,073241
Метилциклогексан Methylcyclohexane	0,000600	0,000000	0,000732
2-метилпентан 2-methylpentane	0,120376	0,000000	0,146971
3-метилпентан 3-methylpentane	0,085783	0,000000	0,104735
2,2-диметилбутан 2,2-dimethylbutane	0,002400	0,000000	0,002930
2,3-диметилбутан 2,3-dimethylbutane	0,018496	0,000000	0,022583

(b)

График изменения температурного профиля по высоте колонны показан на рисунке 4.

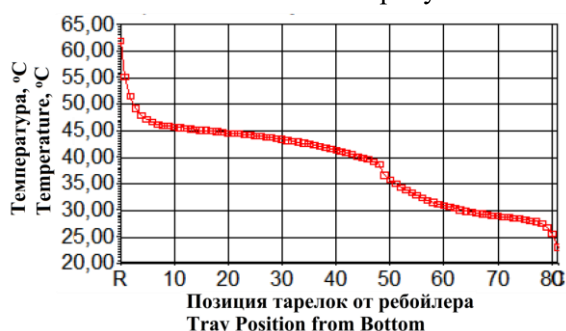


Рисунок 4. График изменения температуры по высоте колонны ДИП

Figure 4. Graph of temperature changes in the height of the DIP column

Проведенный расчёт показал, что при данных параметрах работы колонны ДИП содержание н-пентана в верхнем продукте составляет 0,08 %мас., в кубовом продукте содержание изопентана – 0,03 %мас. При этом объёмный расход объединённого сырья входит в нормы технологического режима и полностью устраняет отмеченную выше проблему по увеличению нагрузки на реакторы изомеризации. Следует также отметить, что включение колонны ДИП в схему установки позволяет увеличить ОЧ изомеризата до 88 пунктов.

Закключение

Анализ фактической работы промышленной установки низкотемпературной изомеризации показал, что присутствует потенциальная возможность увеличения отбора низкоразветвленных C_6 углеводородов в боковой погон. В результате выполненных расчётов для колонны ДИГ достигнута степень извлечения в боковой погон н-гексана и метилпентанов – 99,8 %мас.

Подобранный технологический режим возможно реализовать без изменения технологической схемы действующей установки. Для снижения количества объединённого сырья до регламентных значений был рассчитан вариант работы установки с включением колонны ДИП.

Суммарный расчётный эффект от предложенных решений в виде увеличения ОЧ изомеризата составил 1,9 пунктов.

Представленные технологические решения существенно отличаются от режимов, используемых на промышленных установках и описанных в литературных и патентных источниках, и позволяют вести процесс эффективнее с точки зрения максимального использования потенциала проведения реакции изомеризации и разделения её продуктов.

Литература

- 1 Шакун А.Н., Федоров М.Л., Карпенко Т.В., Демидова Е.В. Развитие процессов изомеризации парафиновых углеводородов // Мир нефтепродуктов. 2020. № 6. С. 12-20.
- 2 Kimura T. Development of Pt/SO₄²⁻/ZrO₂ catalyst for isomerization of light naphtha // Catalysis Today. 2003. V. 81. № 1. P. 57-63.
- 3 Aboul-Gheit A.K. et al. Pt, Re and Pt-Re incorporation in sulfated zirconia as catalysts for n-pentane isomerization // Egyptian Journal of Petroleum. 2014. V. 23. № 3. P. 303-314..
- 4 Prescott H.A., Wloka M., Kemnitz E. Supported sulfated zirconia catalysts and their properties // Journal of Molecular Catalysis A: Chemical. 2004. V. 223. № 1-2. P. 67-74.
- 5 Игумнов А.С., Солнышкина Е.А., Леденев С.М. Вариант совершенствования установки изомеризации бензиновых фракций // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 6. С. 193.
- 6 Кузичкин Н.В., Голоднова Д.А. Совместное применение адсорбции и каталитической изомеризации // Известия СПбГТИ(ТУ). 2018. №44. С. 40-44.
- 7 Пат. № 2680377, RU, C07C 5/22, 9/12, 9/16. Способ разделения бензиновых фракций в процессе изомеризации / Мнушкин И.А. № 2018132218; Заявл. 10.09.2018; Оpubл. 20.02.2019, Бюл. № 5.
- 8 Muhammed T., Tokay B., Conradie A. Raising the Research Octane Number using an optimized Simulated Moving Bed technology towards greater sustainability and economic return // Fuel. 2023. V. 337. P. 126864. doi: 10.1016/j.fuel.2022.126864
- 9 Пат. № 2646751, RU, C07C 5/22, 9/16. Способ изомеризации легких бензиновых фракций / Мнушкин И.А. № 2017125275; Заявл. 14.07.2017; Оpubл. 07.03.2018, Бюл. № 7.
- 10 Пат. № 2708613, RU, C10G 59/00, 63/00. Способы и устройства для интегрированного процесса изомеризации и платформинга / Глоувер Б.К. № 2017135457; Заявл. 28.03.2016; Оpubл. 10.12.2019, Бюл. № 34.
- 11 Пат. № 2595341, RU, B01J 21/04, 23/42, 37/02, C07C 5/27. Катализатор изомеризации парафиновых углеводородов и способы его приготовления / Кильдяшев С.П., Ястребова Г.М. № 2015125919/04; Заявл. 29.06.2015; Оpubл. 27.08.2016, Бюл. № 24.
- 12 Газаров Р.А., Мещеряков С.В., Газаров К.Р., Русакова В.В. Синтез новых суперкислотных катализаторов для получения экологически безопасных высокооктановых компонентов бензинов // Труды РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. 2021. №2. С. 93-101
- 13 Маликов И.В., Завалинская И.С., Ясьян Ю.П. Исследование превращений углеводородов C5-C6 в реакции изомеризации в присутствии катализаторов на основе иммобилизованной ионной жидкости // Фундаментальные исследования. 2015. № 2-5. С. 935-939.
- 14 Тураносов А.В., Иванчина Э.Д., Чеканцев Н.В., Чузлов В.А. и др. Оптимизация процесса изомеризации пентан-гексановой фракции с использованием комплексной математической модели HYSYS-IZOMER. // Нефтепереработка и нефтехимия. 2012. № 12. С. 9-13.
- 15 Osman W.S., Fadel A.E., Salem S.M., Shoaib A.M. et al. Optimum Design of Naphtha Recycle Isomerization Unit with Modification by Adding De-Isopentanizer // Processes. 2023. V. 11. № 12. P. 3406. doi: 10.3390/pr11123406
- 16 Enikeeva L.V. et al. Modeling and optimization of the catalytic isomerization of the pentane-hexane fraction with maximization of individual high-octane components yield // Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis. 2021. V. 133. P. 879-895.
- 17 Пат. № 2621349, RU, C07C 7/04. Способ разделения изопентан-пентан-изогексан-гексановой фракции, снижающий долю рецикловых потоков в системе / Фаизов А.Р., Чуракова С.К., Гильванова Э.М. № 2016112101; Заявл. 30.03.2016; Оpubл. 02.06.2017, Бюл. № 16.
- 18 Беденко Е.Е., Береговский А.А., Попов С.В., Хабибрахманова О.В. Оптимизация технологических режимов колонны деизопентанизатора подготовки сырьевого потока установки низкотемпературной изомеризации ПГИ-ДИГ/280-НК // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 204-211. doi: 10.20914/2310-1202-2023-1-204-211
- 19 Said M.M., Ahmed T.S., Moustafa T.M. Predictive modeling and optimization for an industrial Penex isomerization unit: A case study // Energy & fuels. 2014. V. 28. № 12. P. 7726-7741.
- 20 Peng D.Y., Robinson D.B. A new two-constant equation of state // Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals. 1976. V. 15. № 1. P. 59-64.

References

- 1 Shakun A.N., Fedorov M.L., Karpenko T.V., Demidova E.V. Development of isomerization processes of paraffin hydrocarbons. World of Oil Products. 2020. no. 6. pp. 12-20. (in Russian).
- 2 Kimura T. Development of Pt/SO₄²⁻/ZrO₂ catalyst for isomerization of light naphtha. Catalysis Today. 2003. vol. 81. no. 1. pp. 57-63.
- 3 Aboul-Gheit A.K. et al. Pt, Re and Pt-Re incorporation in sulfated zirconia as catalysts for n-pentane isomerization. Egyptian Journal of Petroleum. 2014. vol. 23. no. 3. pp. 303-314..
- 4 Prescott H.A., Wloka M., Kemnitz E. Supported sulfated zirconia catalysts and their properties. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical. 2004. vol. 223. no. 1-2. pp. 67-74.
- 5 Igumnov A.S., Solnyshkina E.A., Ledenev S.M. Option for improving the isomerization unit for gasoline fractions. Modern science-intensive technologies. 2013. no. 6. pp. 193. (in Russian).
- 6 Kuzichkin N.V., Golodnova D.A. Combined application of adsorption and catalytic isomerization. News of St. Petersburg State Technical University (TU). 2018. no. 44. pp. 40-44. (in Russian).
- 7 Mnushkin I.A. Method for separating gasoline fractions in the process of isomerization. Patent RF, no. 2680377, 2019.
- 8 Muhammed T., Tokay B., Conradie A. Raising the Research Octane Number using an optimized Simulated Moving Bed technology towards greater sustainability and economic return. Fuel. 2023. vol. 337. pp. 126864. doi: 10.1016/j.fuel.2022.126864
- 9 Mnushkin I.A. Method of isomerization of light gasoline fractions. Patent RF, no. 2646751, 2018.
- 10 Glover B.K. Methods and devices for the integrated process of isomerization and platforming. Patent RF, no. 2708613, 2019.

- 11 Kildyashev S.P., Yastrebova G.M. Catalyst for isomerization of paraffin hydrocarbons and methods for its preparation. Patent RF, no. 2595341, 2016.
- 12 Gazarov R.A., Meshcheryakov S.V., Gazarov K.R., Rusakova V.V. Synthesis of new superacid catalysts for the production of environmentally friendly high-octane gasoline components. *Proceedings of the Russian State University of Oil and Gas* named after I.M. Gubkina. 2021. no. 2. pp. 93-101. (in Russian).
- 13 Malikov I.V., Zavalinskaya I.S., Yasyan Yu.P. Study of the transformations of C5-C6 hydrocarbons in isomerization reactions in the presence of catalysts based on immobilized ionic liquid. *Fundamental Research*. 2015. no. 2-5. pp. 935-939. (in Russian).
- 14 Turanov A.V., Ivanchina E.D., Chekantsev N.V., Chuzlov V.A. et al. Optimization of the process of isomerization of the pentane-hexane fraction using the complex mathematical model HYSYS-IZOMER. *Oil refining and petrochemistry*. 2012. no. 12. pp. 9-13. (in Russian).
- 15 Osman W.S., Fadel A.E., Salem S.M., Shoaib A.M. et al. Optimum Design of Naphtha Recycle Isomerization Unit with Modification by Adding De-Isopentanizer. *Processes*. 2023. vol. 11. no. 12. pp. 3406. doi: 10.3390/pr11123406
- 16 Enikeeva L.V. et al. Modeling and optimization of the catalytic isomerization of the pentane-hexane fraction with maximization of individual high-octane components yield. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*. 2021. vol. 133. pp. 879-895.
- 17 Faizov A.R., Churakova S.K., Gilvanova E.M. Method for separating isopentane-pentane-isohexane-hexane fraction, reducing the share of recycle flows in the system. Patent RF, no. 2621349, 2017.
- 18 Bedenko E.E., Beregovsky A.A., Popov S.V., Khabibrakhmanova O.V. Optimization of technological modes of the deisopentanizer column for preparing the raw material flow of the low-temperature isomerization unit PGI-DIG/280-NK. *Proceedings of VSUET*. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 204-211. doi: 10.20914/2310-1202-2023-1-204-211 (in Russian).
- 19 Said M.M., Ahmed T.S., Moustafa T.M. Predictive modeling and optimization for an industrial Penex isomerization unit: A case study. *Energy & fuels*. 2014. vol. 28. no. 12. pp. 7726-7741.
- 20 Peng D.Y., Robinson D.B. A new two-constant equation of state. *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*. 1976. vol. 15. no. 1. pp. 59-64.

Сведения об авторах

Олег Ю. Лямаев магистрант, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, svropov2018@ya.ru
 <https://orcid.org/>

Сергей В. Попов к.т.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, svropov2018@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-0533-9049>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Oleg Yu. Lyamaev master student, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, svpopov2018@ya.ru
 <https://orcid.org/>

Sergey V. Popov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, svpopov2018@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-0533-9049>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/01/2024	После редакции 05/02/2024	Принята в печать 22/02/2024
Received 18/01/2024	Accepted in revised 05/02/2024	Accepted 22/02/2024

Влияние комплексного соединения кобальта на пол и некоторые биологические характеристики шпината

Татьяна А. Кончина ¹	tatyana.konchina@mail.ru	 0009-0002-0723-4240
Светлана А. Опарина ¹	sv130297@mail.ru	 0009-0008-6754-7875
Елена В. Баронова ¹	ipprepod@yandex.ru	 0000-0002-1125-9590

¹ Арзамасский филиал ННГУ им. Н.И. Лобачевского, ул. К.Маркса, 36, г. Арзамас, 607220, Россия

Аннотация. Проблема половой дифференциации растений всегда занимала центральное место при изучении их биологических характеристик, так как процесс сексуализации растений контролирует количественные и качественные стороны формирования гамет и, в конечном счете, семян. Семенная продуктивность, в свою очередь, определяет эволюционную судьбу вида. К факторам, смещающим пол растений в ту или иную сторону, относятся различные химические соединения. Вопрос о влиянии предпосевной обработки комплексным соединением кобальта на половую дифференциацию растений в литературе не освещен. Процесс сексуализации растительных организмов служит одним из возможных путей повышения продуктивности растений, поэтому очевидна актуальность управления этим процессом. Влияние предпосевной химической обработки семян на процесс половой дифференциации, рост и продуктивность шпината огородного (*Spinacia oleracea* L.) изучалось по общепринятым методикам проведения полевых опытов с однолетними травами в полевых и лабораторных условиях. Проведённые исследования позволили установить, что с уменьшением количества листьев и их размеров снижается масса растений гинейкистов и андрейкистов шпината в вариантах с предпосевной обработкой концентрациями диметилсульфоксида хлорида кобальта (II) 0,05% и 0,1%, что говорит о его ингибирующем действии. Эта же концентрация вызывает смещение пола в популяциях шпината в женскую сторону. Также было показано, что минимальная концентрация 0,01% не оказывает влияния на морфологические характеристики шпината, за исключением количества листьев гинейкистов, но повышает семенную продуктивность шпината. Определено, что с повышением концентраций диметилсульфоксида хлорида кобальта (II) до значений 0,05% и 0,1% жизнеспособность пыльцы резко снижается. Полученные данные показывают, что биологические и морфофизиологические характеристики шпината огородного изменяются в зависимости от используемой концентрации комплексного соединения кобальта (II). Динамика изменения семенной продуктивности также находится в определенной зависимости от экспериментального фактора. Изучение влияния предпосевной обработки семян шпината огородного диметилсульфоксидом хлоридом кобальта (II) на процесс его половой дифференциации позволяет, при дальнейшем накоплении экспериментального материала, прогнозировать продуктивность данного растения для использования в практических целях как одного из самых распространённых и питательных видов овощной зелени.

Ключевые слова: шпинат огородный, семенная продуктивность, морфологические критерии, ингибитор, всхожесть, жизнеспособность пыльцы

The impact of the cobalt complex compound on the sex and some biological characteristics of spinach

Tatyana A. Konchina ¹	tatyana.konchina@mail.ru	 0009-0002-0723-4240
Svetlana A. Oparina ¹	sv130297@mail.ru	 0009-0008-6754-7875
Elena V. Baronova ¹	ipprepod@yandex.ru	 0000-0002-1125-9590

¹ Arzamas Branch of N. I. Lobachevsky National Research University, Marx St., Arzamas, 607220, Russia

Abstract. The problem of sexual differentiation of plants has always occupied a central place in the study of their biological characteristics, since the process of plant sexualization controls the quantitative and qualitative aspects of the formation of gametes and, ultimately, seeds. Seed production, in turn, determines the evolutionary fate of the species. Various chemical compounds are among the factors that change the plant sex in one direction or another. The question of the effect of pre-treatment with a cobalt complex compound on the sexual differentiation of plants is not covered in publications. The process of sexualization of plant organisms serves as one of the possible ways to increase plant productivity, therefore, the relevance of managing this process is obvious. The influence of pre-sowing chemical treatment of seeds on the process of sexual differentiation, growth and productivity of prickly-seeded spinach (*Spinacia oleracea* L.) was studied using generally accepted methods of conducting field experiments with annual herbs in field and laboratory conditions. The conducted studies allowed us to establish that with a decrease in the number of leaves and their size, the mass of spinach with female and male plants decreases in samples with pre-treatment with concentrations of dimethyl sulfoxide cobalt (II) chloride 0.05% and 0.1%, which indicates its inhibitory effect. The same concentration causes a gender change in spinach populations to the female side. It was also shown that the minimum concentration of 0.01% does not affect the morphological characteristics of spinach, except for the number of leaves of female plants, but increases the seed productivity of spinach. It was determined that with an increase in the concentrations of dimethyl sulfoxide cobalt (II) chloride to the values of 0.05% and 0.1%, the viability of pollen decreases sharply. The obtained data show that the biological and morpho-physiological characteristics of prickly-seeded spinach vary depending on the concentration of the complex compound of cobalt (II). The dynamics of changes in seed productivity is also in a certain dependence on the experimental factor. The study of the effect of pre-sowing treatment of *Spinacia oleracea* seeds with dimethyl sulfoxide cobalt (II) chloride on the process of its sexual differentiation allows, with further accumulation of experimental material, to predict the productivity of this plant for practical use as one of the most common and nutritious types of vegetable greens.

Keywords: garden spinach, seed productivity, morphological criteria, inhibitor, germination, pollen viability

Для цитирования

Кончина Т.А., Опарина С.А., Баронова Е.В. Влияние комплексного соединения кобальта на пол и некоторые биологические характеристики шпината // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 235–241. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-235-241

For citation

Konchina T.A., Oparina S.A., Baronova E.V. The impact of the cobalt complex compound on the sex and some biological characteristics of spinach. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 235–241. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-235-241

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Стремление проникнуть в тайну полового процесса у растений существовало еще у древнегреческих мыслителей. В XIX веке изучением процесса оплодотворения занимались многие: Л.С. Ценковский (1853 г.) – у можжевельника, Я.Я. Вальц (1874 г.) – у зеленых водорослей, В.Ф. Хмелевский (1890–1891) – у спирогиры.

В современной ботанической литературе нет общепринятой терминологии для классификации различных сексуальных форм растений. В своей работе мы используем классификацию, предложенную А.Г. Сидорским [1], который отметил, что при определенных внешних условиях или в результате генетических особенностей может измениться обмен веществ, что приведет к невозможности обеспечения в организме физиолого-биохимической дифференцировки. В таком случае в морфологически обоеполом цветке нормально будет протекать либо макро-, либо микроспорогенез. Морфологически обоеполый цветок превратится в функционально тычиночный или пестичный. В функционально пестичных цветках пыльца нежизнеспособная, а в функционально тычиночных – нежизнеспособны яйцеклетки [1].

В связи с тем, что тычиночные и пестичные цветки монойкистов, гинойкисты и андройкисты у диойкистов отличаются по многим биологическим характеристикам, то закономерно влияние на них в разной степени экологических факторов. Это подтверждает большое число публикаций по данной проблеме [2–5]. По мнению В.Н. Година «явление однополых цветков и разных половых форм особей в популяциях, скорее всего, способствует продвижению раздельнополых форм значительно дальше границ распространения родственных гермафродитных видов» [6]. В случае, когда объектом исследований служили культурные растения, в подавляющем большинстве работ авторы дают практические рекомендации с целью создания оптимального для урожайности соотношения разнополых цветков у монойкистов и однополых особей в популяциях у диойкистов [7–10]. Ранее исследование Кончиной Т.А. показало, что шпинат, в отличие от монойкистов (кабачков и огурцов), при всех дозах гамма-облучения имел сдвиг пола в женскую сторону за счет увеличения в посевах доли гинойкистов. В ряде работ авторами отмечается, что влияние экологических факторов реализуется через воздействие на гормональную систему, которая взаимодействует с генетическим аппаратом и обуславливает проявление пола у растений [8, 11–15].

Обработка растений некоторыми химическими соединениями может вызвать нарушения в ходе микроспоро- и макроспорогенеза, что

оказывает влияние на урожайность. Так, предпосевная обработка семян огурцов растворами солей Mn и Ni приводила к увеличению числа тычиночных цветков [1]. Опрыскивание растений огурцов нитратом серебра вызывало в основном образование тычиночных цветков.

Материалы и методы

Объектом исследования был выбран шпинат – типичный вид, который по биологическим качествам чувствителен к экологическому воздействию на изменение половой дифференциации. Это – раздельнополое двудомное растение (диойкист), популяции которого состоят из мужских (андройкистов) и женских (гинойкистов) особей. Выбранный объект позволил изучить особенности сексуализации растений в зависимости от влияния комплексного соединения кобальта на популяционном уровне.

Многие авторы изучали влияние соединений кобальта на различные процессы растений, их урожай. Так, Т.И. Смирновой и др. на основе использования хелатных соединений кобальта (II) обнаружено увеличение содержания хлорофилла и общей массы семян у фасоли обыкновенной [18]. Применение хлорида кобальта в концентрациях 0,01–1 мг/кг почвы привело к достоверному увеличению длины корешков, длины и массы проростков льна и пажитника [16]. На признание Co незаменимым микроэлементом для питания растений обращают внимание Сю Ху и др. [18], З. Ульхассан и др. [19], А. Банерджи и А. Ройчоудхури [20].

Нами был использован раннеспелый сорт – Витаминный, склонный к быстрому стеблеванию. Имеет розетку листьев диаметром 17–23 см. Шпинат этого сорта, по сравнению с другими сортами, содержит повышенное количество витаминов [21]. Сухие семена данной культуры замачивали в растворе диметилсульфоксид хлорида кобальта (II) ($4\text{CoCl}_2 \cdot 3(\text{CH}_3)_2\text{SO} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) в концентрациях 0,05%, 0,01%, 0,1% в течение суток.

Все опыты были проведены в трехкратной повторности, в каждой из которой было по 100 особей шпината. В ходе эксперимента велись фенологические наблюдения за скоростью развития растений (по 10 особей обоих полов в каждой повторности). У шпината были определены такие морфологические показатели как количество, длина, ширина листьев, масса, высота растений.

Определяли жизнеспособность пыльцы с помощью изатинового реактива (пролин-теста) [22]. На предметном стекле смешивали пыльцу с тремя каплями реактива. После пятиминутного окрашивания препарат прогревали в течение 10 минут на спиртовке. Жизнеспособная

пыльца реагирует с изатином и окрашивается в интенсивно темно-синий цвет, а нежизнеспособные пыльцевые зерна остаются бесцветными. Подсчёт окрашенных и проросших пыльцевых зёрен проводили через 24 часа после посева с помощью светового микроскопа при увеличении в 120 раз в пяти полях зрения в 3-х кратной повторности. Семена, полученные от опытных растений, после 5 месяцев сухого хранения проращивали согласно ГОСТу 12038–84 [23].

Полученные результаты были обработаны статистически. Определялись средняя арифметическая величина (M), квадратичное отклонение (σ), средняя статистическая ошибка (m). Достоверность различий между контрольными и опытными вариантами оценивали с помощью критерия Стьюдента ($t_{\text{ст}}$) на 5% уровне значимости, обеспечивающем 95% достоверную вероятность ($P < 0,05$).

Результаты и обсуждение

Мужские растения шпината (андройкисты) отличались от женских (гинойкистов) более интенсивным развитием. Через две недели после появления всходов можно было различить растения по формирующимся мужским соцветиям. Наблюдения за мужскими и женскими растениями шпината во всех вариантах опыта показали, что они отличались друг от друга по ряду морфологических показателей: высоте, количеству листьев и вегетативной массе. Андройкисты превосходили гинейкистов по высоте, женские же особи отличались большим количеством листьев и большей массой. Сравнение по морфологическим показателям растений шпината, выросших из семян, обработанных диметилсульфоксидом хлоридом кобальта (II), с необработанными выявило различия по некоторым исследованным параметрам представлено в таблице 1.

Таблица 1.

Влияние предпосевной обработки на морфологические показатели шпината

Table 1.

The impact of pre-sowing treatment on the morphological parameters of spinach

Варианты Variants	Пол Sex	Масса, г Weight, g	P	Количество листьев, шт. Number of leaves (pcs.)	P	Длина, см Length, cm.	P	Ширина, см Width, cm.	P
Контроль Control	♂	17,0±1,04	-	12,6±0,3	-	10,2±0,3	-	6,4±0,3	-
	♀	30,0±1,4	-	27,0±0,6	-	11,1±0,3	-	7,2±0,3	-
0,01%	♂	15,0±0,3	>0,1	13,9±0,4	>0,02	10,8±0,4	>0,2	6,0±0,2	>0,1
	♀	31,0±0,8	>0,1	31,6±0,3	<0,001	12,0±0,3	>0,05	7,0±0,2	>0,6
0,05%	♂	13,0±0,3	<0,001	10,0±0,3	<0,001	7,7±0,3	<0,001	4,4±0,3	<0,001
	♀	21,0±0,8	<0,001	24,6±0,6	<0,001	8,9±0,2	<0,001	5,4±0,1	<0,001
0,1%	♂	10,2±0,4	<0,001	10,6±0,5	<0,1	9,4±0,4	>0,05	5,3±0,4	<0,05
	♀	21,0±0,8	<0,001	25,0±0,3	<0,1	10,8±0,4	>0,5	5,8±0,3	<0,05

Источник: составлено авторами

В опытах по влиянию предпосевной обработки комплексного соединения на соотношение полов шпината установлено достоверное возрастание количества гинейкистов в вариантах с обработкой диметилсульфоксидхлоридом кобальта (II) в концентрациях 0,05% (58,7%) и 0,1% (62,0%) по сравнению с контролем (50,3%). Причем, самый большой процент гинейкистов от общего количества особей в популяции отмечен при обработке семян комплексным соединением концентрацией 0,1%. Оказалось, что мужской пол менее резистентен, поэтому происходит феминизация популяций под воздействием химической обработки семян. В контроле соотношение гинейкистов и андройкистов (1,0) было ниже, чем во всех вариантах. Однако достоверное смещение половой дифференциации в женскую сторону наблюдается при замачивании семян шпината в растворах с концентрациями 0,05% (1,4) и 0,1% (1,6) (рисунок 1). Соотношение гинейкистов и андройкистов в варианте с обработкой

семян 0,01%-м раствором комплексного соединения составило 1,2, что лежит в пределах ошибки опыта.

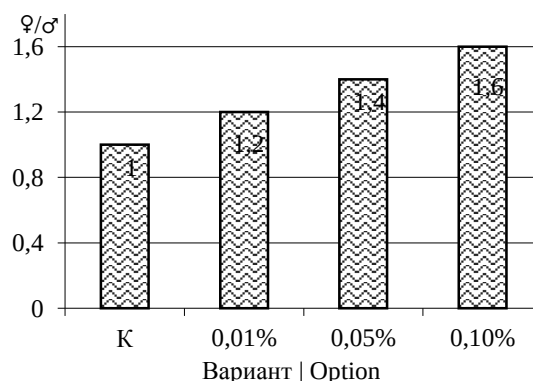


Рисунок 1. Влияние предпосевной обработки диметилсульфоксидхлоридом кобальта (II) на дифференциацию пола шпината

Figure 1. Impact of pre-sowing treatment with dimethyl sulfoxide cobalt (II) chloride on the differentiation of spinach sex

Важными характеристиками репродуктивной функции растений являются качественные показатели семенной продукции: масса тысячи семян, их количество и всхожесть. Сравнение

вариантов влияния предпосевной обработки комплексным соединением кобальта на жизнеспособность семян представлено в таблице 2.

Влияние предпосевной обработки диметилсульфоксид хлоридом кобальта (II) на жизнеспособность семян шпината сорта Витаминный

Таблица 2.

Impact of pre-sowing treatment with dimethyl sulfoxide cobalt (II) chloride on the viability of spinach seeds of the Vitamin variety

Table 2.

Вариант Variant	Количество семян, шт Number of seeds, pcs.		Масса 1000 семян, г Weight of 1000 seeds, g.		Всхожесть полученных семян, % Germination of the obtained seeds, %	
	M ± m	P	M ± m	P	M ± m	P
Контроль Control	97,0 ± 0,6	-	14,7 ± 0,3	-	71,3 ± 1,2	-
0,01%	99,8 ± 0,9	<0,001	16,0 ± 0,6	>0,1	83,3 ± 0,9	<0,001
0,05%	122,7 ± 1,9	<0,001	12,0 ± 0,6	<0,01	58,7 ± 1,8	<0,001
0,1%	116,0 ± 0,6	<0,001	10,7 ± 0,3	<0,01	56,3 ± 2,0	<0,001

Источник: составлено авторами

Установлено, что в вариантах с предпосевной обработкой комплексным соединением кобальта концентрациями 0,05% и 0,1% достоверно уменьшается масса 1000 семян (12,0 г и 10,7 г соответственно) (таблица 2). Всхожесть семян, полученных от обработанных растений в этих вариантах, в отличие от контроля (14,7%), достоверно ниже (12,0 и 10,7%). В связи с этим можно говорить об ингибирующем действии данных концентраций рассматриваемого вещества.

Наряду с качественными характеристиками семян важнейшим показателем функциональной половой дифференциации растений является жизнеспособность пыльцы, поскольку условия выращивания растений оказывают влияние на состояние пыльцевых зерен, их жизнеспособность [24, 25].

Исследование пыльцы путем окрашивания изатиновым реактивом (таблица 3) показало, что небольшая концентрация 0,01% комплексного соединения кобальта не оказывает существенного влияния на жизнеспособность пыльцы (86,7%) по сравнению с контролем (84,3%).

Таблица 3.

Влияние предпосевного обработки диметилсульфоксидхлоридом кобальта (II) на жизнеспособность пыльцы шпината сорта Витаминный

Table 3.

Impact of pre-sowing treatment with dimethyl sulfoxide cobalt (II) chloride on the pollen viability of the Vitamin spinach variety

Варианты Variants	Жизнеспособность пыльцы, % Pollen viability, %	
	M ± m	P
Контроль Control	84,3 ± 2,0	-
0,01%	86,7 ± 3,1	>0,1
0,05%	22,8 ± 3,2	<0,001
0,1%	17,1 ± 2,4	<0,001

С повышением концентраций до значений 0,05% и 0,1% жизнеспособность пыльцы снижается (22,8% и 17,1% соответственно). Снижение жизнеспособности пыльцы является показателем смещения функциональной сексуализации шпината в женскую сторону, что сопоставимо с морфологическим определением пола в этих вариантах. Концентрация 0,01% комплексного соединения кобальта достоверно не вызывает изменения половой дифференциации, однако стимулирует повышение семенной продуктивности растений – увеличивается масса 1000 семян и увеличение их всхожести.

Изучение влияния предпосевной обработки на морфологические показатели шпината (таблица 1) показало, что увеличение количества листьев на 4,6 шт. наблюдалось у гинейкистов в вариантах с обработкой 0,01%-м раствором комплексной соли кобальта по сравнению с контролем. Концентрации 0,05% и 0,1% несколько снижают количество листьев в среднем на одном женском растении до 24,6 и 25,0 (в контроле 27,0). В связи с обработкой у андроктистов диметилсульфоксидом хлоридом кобальта (II) в варианте 0,01% достоверно увеличивается количество листьев (13,9) по сравнению с контролем (12,6). В концентрациях 0,05% и 0,1% снижается количество листьев у мужских особей на 2,6 и 2,4 шт. по сравнению с контролем.

Достоверного изменения длины листьев шпината в опыте с концентрациями 0,01% и 0,1% не наблюдается. В варианте 0,05% достоверно уменьшается длина листа как у мужских особей (7,7 см), так и у женских (8,9 см) по сравнению с контролем (10,2 см и 11,1 см). Ширина листьев по сравнению с контролем (♂ – 6,4 см, ♀ – 7,2 см) достоверно уменьшается только в вариантах 0,05% и 0,1% у гинейкистов и андроктистов.

Показателем продуктивности шпината как зеленой культуры служит масса растений. Из таблицы 1 видно, что предпосевная обработка семян концентрациями 0,05% и 0,1% достоверно приводит к снижению массы растений обоих полов по сравнению с контролем. Наименьшее ее значение (10,2 г) отмечено у мужских особей в варианте с обработкой 0,1% диметилсульфоксидом хлоридом кобальта (II), тогда как в контроле масса равнялась 17,0 г.

Таким образом, с уменьшением количества листьев и их размеров снижается масса растений гинейкистов и андрейкистов шпината в вариантах с предпосевной обработкой $(\text{CH}_3)_2\text{SO} \cdot \text{CoCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ концентрациями 0,05% и 0,1%, что говорит об ингибирующем действии.

В опытах по влиянию предпосевной обработки комплексного соединения на соотношение полов шпината (таблица 2) самый большой процент гинейкистов от общего количества особей в популяции отмечен при обработке семян комплексным соединением концентрацией 0,1%. Оказалось, что мужской пол менее резистентен, поэтому происходит феминизация популяций под воздействием химической обработки семян. По полученным данным можно резюмировать, что комплексонат кобальта смещает пол шпината в женскую сторону.

Мы отметили возрастание урожая семян в вариантах с обработкой 0,05 и 0,1% – ными растворами (122,7 шт. и 116,0 шт.) по сравнению с контролем (97,0 шт.), что, по нашему мнению, может быть связано с химическим стрессом

растений и стремлением женских особей оставить как можно большее количество потомков. Концентрация диметилсульфоксид хлорида кобальта (II) 0,01% не оказала существенного влияния на крупность полученных семян шпината (16,0 г) по сравнению с контролем (14,7 г) а вот их всхожесть (83,3%) оказалась достоверно выше контрольных значений (71,3%). Количество же семян отличалось не значительно.

Полученные данные о влиянии концентрации 0,05% и 0,1% $4\text{CoCl}_2 \cdot 3(\text{CH}_3)_2\text{SO} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ на смещение пола шпината в женскую сторону, одновременно позволяют утверждать, что повышение продуктивности растений эти концентрации не вызывают, а напротив наблюдается снижение зеленой массы растений. Следовательно, концентрации 0,05% и 0,1% диметилсульфоксида хлорида кобальта (II), оказывают ингибирующие действия на ряд биологических характеристик. В этих же вариантах изменяется семенная продуктивность: снижается крупность семян, но увеличивается их количество.

Заключение

Изучение влияния предпосевной обработки семян шпината огородного диметилсульфоксидом хлоридом кобальта (II) на процесс его половой дифференциации позволяет, при дальнейшем накоплении экспериментального материала, прогнозировать продуктивность данного растения для использования в практических целях как одного из самых распространённых и питательных видов овощной зелени.

Литература

- 1 Сидорский А.Г. Эволюция половой организации цветковых растений. Н. Новгород: Волго-Вятское книж. изд-во, 1991. 210 с.
- 2 Cane James H. Reproductive role of sterile pollen in cryptically dioecious species of flowering plants // Curr. Sci. (India). 1993. V. 65. № 3. P. 223–225.
- 3 Doust L.L., Doust S.L. Leaf demography and clonal growth in female and male *Rumex acetosella* // Ecology. 1987. № 6. P. 2056–2058.
- 4 Серков В.А., Хрянин В.Н., Зеленина О.Н. К проблеме регуляции процесса половой дифференциации растений конопля посевной // Инновационная техника и технология. 2017. № 2. С. 5–12.
- 5 Konchina T., Oparina S., Sidorskaya V., Rostunov A., Zhestkova E. Effects of anthropogenic impact on sexual differentiation of certain species of the Genus *Salix* // Environment. Technologies. Resources. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. 2019. V. 1. P. 105–109.
- 6 Godin V.N. Trioecy in Flowering Plants // Doklady Biological Sciences. 2022. V. 507. №. 1. P. 301–311.
- 7 Кордюм Е.Л., Глущенко Г.И. Цитозмбриологические аспекты проблемы пола покрытосемянных. Киев: Наукова Думка, 1976. 198 с.
- 8 Хрянин В.Н., Чайлахян М.Х. Регуляция проявления пола у растений // 2 съезд Всесоюзного общества физиологов растений. Ч. 2. Минск, 1992. С. 227.
- 9 Кунавин Г.А., Кастиорнова А.В. Фотосинтетический потенциал и урожайность шпината в зависимости от группы спелости сортов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 5(85). С. 97–100.
- 10 Штайнерт Т.В., Алилуев А.В. Влияние фиторегуляторов пола на продуктивность огурца // Овощи России. 2023. № 4. С. 38–42.
- 11 Чайлахян М.Х., Хрянин В.Н. Пол растений и его гормональная регуляция. М.: Наука, 1982. 173 с.
- 12 Спицын И.П., Гугнявых А.В. Генетическая детерминация пола цветка у покрытосемянных рода *Cerasus* // Биол. и экология растений. 1996. С. 56–59.
- 13 Coito J.L., Silva H., Ramos M.J.N., Montez M. et al. Vitis flower sex specification acts downstream and independently of the ABCDE model genes // Front. Plant Sci. 2018. doi:10.3389/fpls.2018.01029

- 14 Müller N.A., Kersten B., Leite Montalvao A.P., Mähler N. et al. A single gene underlies the dynamic evolution of poplar sex determination // *Nat. Plants*. 2020. V. 6. P. 630–637.
- 15 Leite Montalvão A.P., Kersten B., Fladung M., Müller N.A. The diversity and dynamics of sex determination in dioecious plants // *Frontiers in Plant Science*. 2021. V. 11. doi:10.3389/fpls.2020.580488.
- 16 Смирнова Т.И., Шилова О.В., Никольский В.М., Тумасьева И.Г. и др. Комплексоны кобальта на основе экологически безопасных комплексонов в качестве микроэлементных удобрений // *Вестник Тверского государственного университета. Серия «Химия»*. 2021. № 1 (43). С. 127–133.
- 17 Черных Ю.О., Куликова М.А., Ступаков А.Г. Зависимость морфометрических параметров льна и пажитника в ранний период жизни от разных концентраций хлорида кобальта в черноземе типичном // *Инновации в АПК: проблемы и перспективы*. 2022. № 2 (34). С. 161–168.
- 18 Hu X., Wei X., Ling J., Chen J. Cobalt: an essential micronutrient for plant growth? // *Frontiers in Plant Science*. 2021. V. 12. doi:10.3389/fpls.2021.768523
- 19 Ulhassan Z., Shah M.A., Ali R.K., Wardah A. et al. Mechanisms of cobalt uptake, transport, and beneficial aspects in plants // *Beneficial chemical elements of plants*. John Wiley & Sons Ltd, 2023. 386 p.
- 20 Banerjee A., Roychoudhury A. Beneficial aspects of cobalt uptake in plants exposed to abiotic stresses // *Frontiers in Plant-Soil Interaction*. Academic Press, 2021. P. 523-529.
- 21 Лебедева А.Т. Шпинат заслуживает внимания // *Картофель и овощи*. 2000. № 2. С. 26–27.
- 22 Бритиков Е.А. Биологическая роль пролина. М.: Наука, 1975. 87 с.
- 23 ГОСТ 12038 – 84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. М.: Изд-во стандартов, 1985. 56 с.
- 24 Дубровский М.Л. Пыльца растений как биоиндикатор экологического состояния природных и антропогенных территорий // *Наука и Образование*. 2022. Т. 5. № 4. URL: <http://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/5341>
- 25 Pacini E., Dolferus R. Pollen developmental arrest: maintaining pollen fertility in a world with a changing climate. 2019. V. 10. doi:10.3389/fpls.2019.00679.

References

- 1 Sidorsky A.G. Evolution of the sexual organization of flowering plants. N. Novgorod, Volgo-Vyatskoe book publishing house, 1991. 210 p. (in Russian).
- 2 Cane James H. Reproductive role of sterile pollen in cryptically dioecious species of flowering plants. *Curr. Sci. (India)*. 1993. vol. 65. no. 3. pp. 223–225.
- 3 Doust L.L., Doust S.L. Leaf demography and clonal growth in female and male *Rumex acetosella*. *Ecology*. 1987. no. 6. pp. 2056–2058.
- 4 Serkov V.A., Khryanin V.N., Zelenina O.N. On the problem of regulating the process of sexual differentiation of hemp plants. *Innovative technology and technology*. 2017. no. 2. pp. 5–12. (in Russian).
- 5 Konchina T., Oparina S., Sidorskaya V., Rostunov A., Zhestkova E. Effects of anthropogenic impact on sexual differentiation of certain species of the Genus *Salix*. *Environment. Technologies. Resources. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. 2019. vol. 1. pp. 105-109.
- 6 Godin V.N. Trioecy in Flowering Plants. *Doklady Biological Sciences*. 2022. vol. 507. no. 1. pp. 301-311.
- 7 Kordyum E.L., Glushcheko G.I. Cytoembryological aspects of the problem of sex of angiosperms. Kyiv, Naukova Dumka, 1976. 198 p. (in Russian).
- 8 Khryanin V.N., Chailakhyan M.Kh. Regulation of sex manifestation in plants. 2nd Congress of the All-Union Society of Plant Physiologists. Part 2. Minsk, 1992. pp. 227. (in Russian).
- 9 Kunavin G.A., Kastornova A.V. Photosynthetic potential and yield of spinach depending on the ripeness group of varieties. *News of the Orenburg State Agrarian University*. 2020. no. 5(85). pp. 97–100. (in Russian).
- 10 Steinert T.V., Aliluev A.V. The influence of sex phyto regulators on cucumber productivity. *Vegetables of Russia*. 2023. no. 4. pp. 38–42. (in Russian).
- 11 Chailakhyan M.Kh., Khryanin V.N. Plant sex and its hormonal regulation. M., Nauka, 1982. 173 p. (in Russian).
- 12 Spitsyn I.P., Gugnyavykh A.V. Genetic determination of flower sex in angiosperms of the genus *Cerasus*. *Biol. and plant ecology*. 1996. pp. 56–59. (in Russian).
- 13 Coito J.L., Silva H., Ramos M.J.N., Montez M. et al. Vitis flower sex specification acts downstream and independently of the ABCDE model genes. *Front. Plant Sci*. 2018. doi:10.3389/fpls.2018.01029
- 14 Müller N.A., Kersten B., Leite Montalvao A.P., Mähler N. et al. A single gene underlies the dynamic evolution of poplar sex determination. *Nat. Plants*. 2020. vol. 6. pp. 630–637.
- 15 Leite Montalvão A.P., Kersten B., Fladung M., Müller N.A. The diversity and dynamics of sex determination in dioecious plants. *Frontiers in Plant Science*. 2021. vol. 11. doi:10.3389/fpls.2020.580488
- 16 Smirnova T.I., Shilova O.V., Nikolsky V.M., Tumaseva I.G. and others. Cobalt complexonates based on environmentally friendly complexones as microelement fertilizers. *Bulletin of Tver State University. Series "Chemistry"*. 2021. no. 1 (43). pp. 127–133. (in Russian).
- 17 Chernykh Yu.O., Kulikova M.A., Stupakov A.G. Dependence of the morphometric parameters of flax and fenugreek in the early period of life on different concentrations of cobalt chloride in typical chernozem. *Innovations in the agro-industrial complex: problems and prospects*. 2022. no. 2 (34). pp. 161–168. (in Russian).
- 18 Hu X., Wei X., Ling J., Chen J. Cobalt: an essential micronutrient for plant growth? *Frontiers in Plant Science*. 2021. vol. 12. doi:10.3389/fpls.2021.768523
- 19 Ulhassan Z., Shah M.A., Ali R.K., Wardah A. et al. Mechanisms of cobalt uptake, transport, and beneficial aspects in plants. *Beneficial chemical elements of plants*. John Wiley & Sons Ltd, 2023. 386 p.

- 20 Banerjee A., Roychoudhury A. Beneficial aspects of cobalt uptake in plants exposed to abiotic stresses. *Frontiers in Plant-Soil Interaction*. Academic Press, 2021. pp. 523-529.
- 21 Lebedeva A.T. Spinach deserves attention. *Potatoes and vegetables*. 2000. no. 2. pp. 26–27. (in Russian).
- 22 Britikov E.A. Biological role of proline. M., Nauka, 1975. 87 p. (in Russian).
- 23 GOST 12038 – 84. Agricultural seeds. Methods for determining germination. M., Publishing house of standards, 1985. 56 p. (in Russian).
- 24 Dubrovsky M.L. Plant pollen as a bioindicator of the ecological state of natural and anthropogenic territories. *Science and Education*. 2022. vol. 5. no. 4. Available at: <http://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/5341> (in Russian).
- 25 Pacini E., Dolferus R. Pollen developmental arrest: maintaining pollen fertility in a world with a changing climate. 2019. vol. 10. doi:10.3389/fpls.2019.00679.

Сведения об авторах

Татьяна А. Кончина к.б.н., доцент, кафедра биологии, географии и химии, Арзамасский филиал ННГУ им. Н.И. Лобачевского, ул. К. Маркса, 36, г. Арзамас, 607220, Россия, tatyana.konchina@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0002-0723-4240>

Светлана А. Опарина к.п.н., доцент, кафедра биологии, географии и химии, Арзамасский филиал ННГУ им. Н.И. Лобачевского, ул. К. Маркса, 36, г. Арзамас, 607220, Россия, sv130297@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0008-6754-7875>

Елена В. Баронова к.ф.н., доцент, кафедра иностранных языков и культур, Арзамасский филиал ННГУ им. Н.И. Лобачевского, ул. К. Маркса, 36, г. Арзамас, 607220, Россия, iprepod@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1125-9590>

Вклад авторов

Татьяна А. Кончина общее руководство проектом, эксперимент, анализ и дополнение текста статьи

Светлана А. Опарина эксперимент, сбор и обработка материалов, подготовка первоначального варианта текста

Елена В. Баронова сбор и обработка материалов, подготовка окончательного варианта текста

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Tatyana A. Konchina Cand. Sci. (Biol.), associate professor, biology, geography and chemistry department, Arzamas Branch of N. I. Lobachevsky National Research University, Marx St.,36, Arzamas, 607220, Russia, tatyana.konchina@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0002-0723-4240>

Svetlana A. Oparina Cand. Sci. (Pedog.), associate professor, biology, geography and chemistry department, Arzamas Branch of N. I. Lobachevsky National Research University, Marx St.,36, Arzamas, 607220, Russia, sv130297@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0008-6754-7875>

Elena V. Baronova Cand. Sci. (Phyl.), associate professor, foreign languages and cultures department, Arzamas Branch of N. I. Lobachevsky National Research University, Marx St.,36, Arzamas, 607220, Russia, iprepod@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1125-9590>

Contribution

Tatyana A. Konchina general project management, experiment, analysis and addition to the text of the article

Svetlana A. Oparina experiment, collection and processing of materials, preparation of the initial version of the text

Elena V. Baronova collection and processing of materials, preparation of the final version of the text

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 25/01/2024	После редакции 12/02/2024	Принята в печать 29/02/2024
Received 25/01/2024	Accepted in revised 12/02/2024	Accepted 29/02/2024

Valorization and Characterization of the Physicomechanical Properties of Textile Waste for Polymer Composites

Emiru Y. Melesse	¹	emydms12@gmail.com	 0000-0002-0871-787X
Yulia A. Filinskaya	¹	filinskayaya@mgupp.ru	 0000-0002-2307-6046
Irina A. Kirsh	¹	irina-kirsh@ya.ru	 0000-0003-3370-4226
Ali Y. Alkhair	¹	alkheerali@gmail.com	 0000-0002-9518-7781

¹ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian Biotechnological University, Moscow, Russia

Abstract. The environmental crisis of textile waste in the globe has increased due to the growth of fashion show, industrialization, and demand increment. Despite the Huge amount of textile waste its utilization has not been performed yet except for a little investigation. The present work emphasized the mechanical and permeability character of polymer synthesis of TGGA composites(textile waste, gelatin, glycerol, and acetic acid), fixed at 15% w/w of gelatin, 7 ml glycerol, 6 ml acetic acid through the 2.5% w/w, 5% w/w, and 7%w/w of the amount of cellulose waste. Thereby, the tensile strength of TGGA-2 composite showed higher than TGGA-1 and TGGA-3, due to uniformity distribution of the amount of the textile cellulosic waste. Nonetheless, the elongation at break and water vapor permeability were decreased with the increased amount of the textile waste. Morphological structure of the synthesized composites such as cotton fibers and matrices were visible, rough and non-void area in all the samples. Besides, incorporation of the plasticizing agents confirmed that the TGGA – composites displayed better extensibility and flexibility compared to non-plasticizing composite films currently reported in the literature. Importantly, the produced composites exhibited a functionality equivalent with original packaging materials, which were convectional and natural polymers.

Keywords: textile waste, gelatin, composites, glycerin, physico-mechanical properties, valorization.

Introduction

Currently, the effect of solid waste on the environment has been escalating around the globe due to the high growth of fashion shows, industrialization, and demand increments. Parallel to this, Environmental concerns about the impact of petrochemical plastics, such as their non-biodegradability, non-recyclability, and finding well disposal methods are current art of research [1]. What's more, solid management, the resource Valorization, are crucial for making the environment green and safe, particularly for textile wastes. Coherently, methane gas is released during the decay of textile wastes in the environment in addition to multiple dyes and chemicals in the textile waste contaminated with soil, which decrease soil fertility and cause greenhouse gasses [2]. Jointly, green composites are the current and future alternative to traditional plastics, because they could be used in food packaging applications and act as eco-friendly.

Organic fabric materials are the vital ingredients in polymer and composite synthesis, which serve as reinforcement and can cause high mechanical strength and low barrier properties. The textile wastes (T-shirts), which are highly cellulosic can be utilized for composites extensions. Despite the huge availability of cellulosic textile wastes, their utilization is not well developed yet. Likewise, there

is a dearth of scientific data regarding the incorporation of plasticizing materials (s) with textile wastes. As a reinforcement, other textile wastes like denim wastes are examined with polypropylene (PP) [3, 4], polypropylene, and polyethylene (PP/PE) [5] in packaging applications through hot press process and in structural application utilized with bio-resins [6] by compression molding, used in furniture materials through the non-woven needle-punching process [7]. Furthermore, the application of denim waste used as adsorbent in water defluorination [8], in composite films[9], and in food packaging application with corn starch has been investigated [10].

The Gist-purpose of this research is that Textile (T-shirt) waste fabric was utilized into polymer composites made using the blending polymerization technique, which combined with gelatin, glycerin, and acetic acid. These could be used instead of some selective convectional-based products in food packaging applications, as well as reduce the amount of textile (T-shirt) wastes that have a high environmental crisis.

Material and methods

Textile (T-shirt) waste (100% cotton), gelatin (100%), glycerin (100%), and acetic acid (9% v/v) were used for the development of the polymer composite solutions.

Firstly, the Textile (T-shirt) waste was chopped into chunks. 100% cotton fiber used as

Для цитирования

Мелессе И.И., Филинская Ю.А., Кириш И.А., Альхаир А.Я. Валоризация и характеристика физико-механических свойств текстильных отходов для полимерных композитов // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 242–248. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-242-248

For citation

Melesse E.Y., Filinskaya Yu.A., Kirsh I.A., Alkhair A.Y. Valorization and Characterization of the Physicomechanical Properties of Textile Waste for Polymer Composites. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 242–248. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-242-248

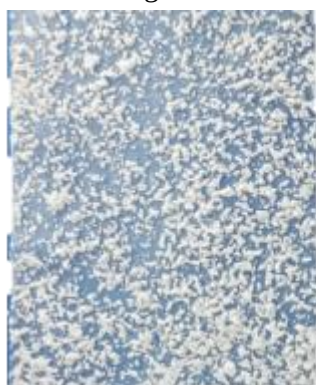
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

a source of cellulosic reinforcement and gelatin used as matrix, glycerin for plasticizer and antimicrobial properties, and acetic acid for esterification purposes were collectively introduced and mixed into 120ml DI water solution. With 2.5% w/w, 5% w/w, and 7% w/w of textile cellulose waste and 15% w/w of gelatin at 7 ml of glycerin and 6 ml of acetic acid were investigated respectively. These solutions were polymerized thoroughly in a hotplate at a temperature of 90.2 ± 3 °C and 25 minutes of blending time. The Textile cellulose waste (TC), gelatin (G), glycerin(G), and acetic acid (AA) samples were symbolized by TGGA composites, and TGGA-1, TGGA-2, and TGGA-3, represented for the above composition of the Textile cellulose waste respectively. The gelatinized solutions were cast in rectangular glass plates and dried in the open air for 48 hours for characterization.

Table 1.
Combination of polymer composite disposed in this investigation

Sample No	Textile (T-shirt) waste % (w/w)	Gelatin % (w/w)	Glycerin % (v/v)	Acetic acid % (v/v)
TGGA-1	2,5	15	7	6
TGGA-2	5	15	7	6
TGGA-3	7	15	7	6

The thickness of the samples was complied with in a micrometer (KM, serial no, 10197–624886, Moscow, Russia) helps to determine the apparent density of the samples by dividing the mass per area and thickness of samples. The average thickness and density of the samples were presented by seven replicated slices that were tried out. The apparent density was determined through the following equation



(a)



(b)



(c)

Figure 1. Photograph of Textile waste, Gelatin, glycerol and acetic acid composites ((a) TGGA-1, (b) TGGA-2, and (c) TGGA-3) samples

Result and discussions

The thickness of the TGGA composites is calculated between the composite film surfaces, it indicates for forecast of the packaging shelf life of the food products. Further, it helps to predict the physio-mechanical properties such as tensile

$$d = \frac{m}{\text{thickness} \times \text{area}} \quad (1)$$

where thickness and area represent, mass, thickness and area of the sample measured by g, μm, and cm², separately.

The stretching of the samples was tasted through the breaking machine (DM-50, Russia), and three replicated slices were recorded. The maximum load, relative elongation at break, and tensile strength of the samples were determined by calculating the average and standard deviation of the slices.

The water vapor permeability of the composite film was calculated by GOST 25898–2012.

Permeability was carried out every 48 hours for eight days. The WVP was calculated by formula (2):

$$WVP(10^{-10} \text{ g} \times \text{m}^{-1} \times \text{Pa}^{-1} \times \text{h}^{-1}) = \frac{\Delta m \times d}{A \times t \times \Delta p} \quad (2)$$

where Δm (g) is the difference in weight (mass loss) when weighing after two days, and the beginning of the experiment, d is the film thickness (mm), Δt is the residence time of the sample (h), and A is the sample area (Approximately equal to the bottle opening area) (cm²), and p is the partial vapor pressure difference between the two sides of the films at room temperature and it is relatively equal to 4247 Pa and 100% relative humidity.

The morphological structure of the slices was conformed to the scanning microscope (Art. No.52–0100, LCD Microscope, v5.0, Gutenbergstr.2–46414 Rhede, Germany).

strength, elongation at break, and vapor permeability of the composites[11]. The additives such as glycerol and acetic acid as well as the operating parameters such as temperature, time, and the concentration of the raw materials highly affects the thickness of the films [12].

Table 2.
Thickness and density of TGGA composites

Sample No	Thickness (mm)	Density (g/cm ³)	References
TGGA-1	0.145 ± 0.119 ^a	0.269 ± 0.044 ^a	This study
TGGA-2	0.437 ± 0.157 ^b	0.416 ± 0.096 ^b	
TGGA-3	0.619 ± 0.169 ^c	0.876 ± 0.141 ^c	

The thickness of the TGGA-2 and TGGA-3 composite show thicker than the TGGA-1 composite. This is due to the high amount of dry solids presented in the composites. It enhanced the high loss of strength in the TGGA composites [12]. Not only the strength but also the water vapor permeability of the TGGA composites is affected by the thickness. Besides, the thickness of the composites also identifies their water affinity, compatibility, structure, and free volume between molecules in the synthesized composite samples [13].

Table 3.
Textile waste and gelatin (TGGA) composites

Samples	Tensile strength (MPa)	Maximum load (N)	Elongation at break (%)	references
TGGA-1	5.11 ± 0.6	21.98 ± 1.9	12.63 ± 3.3	Present study
TGGA-2	26.42 ± 4.6	76.1 ± 9.3	12.48 ± 1.8	
TGGA-3	11.81 ± 0.5	54.95 ± 2.6	16.73 ± 1.8	

The mechanical performance of the composite samples is measured in terms of the tensile strength (TS) and elongation at break (EB). The maximum strength of the composite at break nominates the TS, whereas the deformation of the film until it breaks is measured by elongation. To be more resistance and more selective of the film, the response variable (TS and EB) must be higher in values [14]. The physical and mechanical properties of the produced composite are represented in Table 2. The three composites (TGGA-1, TGGA-2, and TGGA-3) revealed an excellent tensile property as different references reported in the literature. However, the tensile strength (TS) of the TGGA-composites varies with the amount of cellulose. The TGGA-2 composite (26.42 ± 4.6 MPa) shows higher TS of the TGGA-1 (5.11 ± 0.6 MPa) and TGGA-3 (11.81 ± 0.5 MPa) composites, this may be due to the uniformity of fiber distribution of the cellulose particle with the gelatin and glycerol and acetic acid during the development of the polymer composite. All in one, the TS of TGGA composites mended equivalent to gelatin/chitosan (7.44–11.28 MPa) [15], gelatin/MMT nano-particles (3.9–10.9 MPa [16], and gelatin/chitosan nano-particles/oregano essential oil (3.28–10.57 MPa) [17]. Even if the TGGA composites (specifically the TGGA-2) shows to a comparable to conventional plastics such as polypropylene and textile waste (22–32 MPa) [3] and resin (15–55 MPa) [18]. However, it is lower

than polylactic acid (~60–75 MPa) [19], Gelatin type A/melanin NPs (33.6–46.5 MPa) [20], gelatin/MMT nanoparticles/nano-cellulose (32–75 MPa) [21].

Further, elongation of the TGGA composites exhibits higher than the starch-cellulose-based composites (4.0 ± 0.6%) [10], this is due to the plasticizer components (such as glycerol and acetic acid) that added during the development of the composite. The effect of the acetic acid and glycerol could enhance the elongation at the break of the composites [22, 23]. Particularly, the addition of acetic acid and glycerol in the polymerization of the cellulose-based materials causes lowering rigourousness, glass transition temperature, and increasing their elongation at break and augmenting the longevity, and compatibility of the composites [22, 24]. But, elongation at break of the pure form of the Bovine gelatin from Bone (70.50%) [25], Chicken feet (33.97%) [26], and Chicken skin (265.67%) [27] comparably, higher than the TGGA composites.

The water vapor permeability (WVP) of the TGGA composites is presented in Figure 2. The WVP can be affected by the concentration of plasticizing agents and the structure of the materials. The WVP of the TGGA composites highly relayed in the amount of the cellulose amount. It enhances the mechanical properties, lowers the water uptake ratio, moisture content, water vapor permeability, and tensile strength, and increases the elongation at break [24]. Additionally, adding of glycerol in development of cellulose based films can increase the EA from 6.9 to 25.4% as reported in literature [28]. Instead, it (glycerol) decreases the barrier properties by intercepting the hydrogen bond between the nano cellulose chains, facilitating the permeability of the gas molecules [29]. Therefore, a new trend should be set about the addition of glycerol between good plasticizing efficiency and weak gas barrier nature.

The shelf-life and quality of produced composite samples highly fluctuated with the thickness and the WVP. The WVP must be lowered to obtain excellent films. Side reactions (oxidation) and high microbial growth are amended due to the exalt of the WVP of the produced composites [30]. The WVP of the TGGA composites elaborated according to the current reports from the literature of Bovine gelatin from Bone (1.5×10^{-7}) [25], Chicken feet (1.17×10^{-10}) [26], and Chicken skin (2.7×10^{-10}) [27] composites. Overall, the WVP of TGGA composites afforded with the amount of the cellulose inversely relation. In all of the TGGA composite samples showed that when the residence time increased, the WVP of the samples decreased. In comparison, the WVP of TGGA-1 sample in 48, 96, 144 and 192 hrs is 7.66, 22, 63.48, and 96.5%, which showed higher than of the TGGA-2 (4.13%, 17.13%,

18.85% and 17.95%) and TGA-3 (4.54%, 18.56%, 16.45%, and 15.95%) composite samples respectively. This is due to the thickness matter of the synthesized composites. The thicker material can block or restrict the vapor permeability compared to the thinner [10]. Therefore, the greater amount of cellulose and thickness in the film can decrease the WVP of the TGA composites.

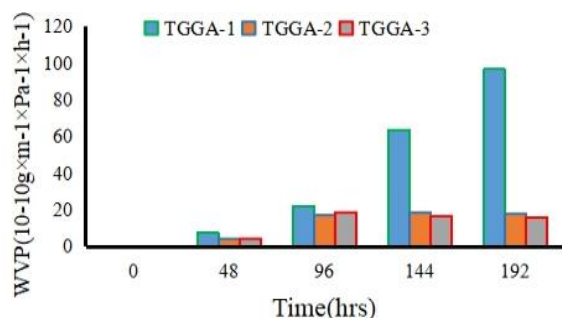


Figure 2. Water vapor permeability of the TGA composites

The morphological image of the TGA composites is presented in Figure 3. The magnification level of the microscope is 4x and 10x. The surface of the produced composites is highly and directly affected by the concentration, structure

and particle size of the chunk cellulosic waste materials. The cotton fibers and matrices are visible in all the samples; however, more fiber and thick matrices are shown in the highest amount of the cellulose (7% w/w) in both 4x and 10x levels of magnification. More fibrous and matrix structure of the highest concentration is shown in the higher resolution of the microscope (10x). Further, all the samples displayed roughness, but there was no visible void area showed. The surface of the composites showed two color types such as black and white. The black image of the TGA composites elaborated the cotton fiber of the cellulose textile waste, nevertheless, the white color shows the gelatin material. Besides, the morphological image of the composite samples is not uniform, this is due to the non-uniform particle size of the chunk cellulosic textile waste used during the raw material preparation. In addition to that, the low viscosity and unequal size of particle size are the main causes for the fibrous and non-uniform structure of the produced composite samples. The dense (edge of the samples) of the composite samples concentrated on one side of the sample, particularly at the bottom this happened during the casting because of the low viscosity.

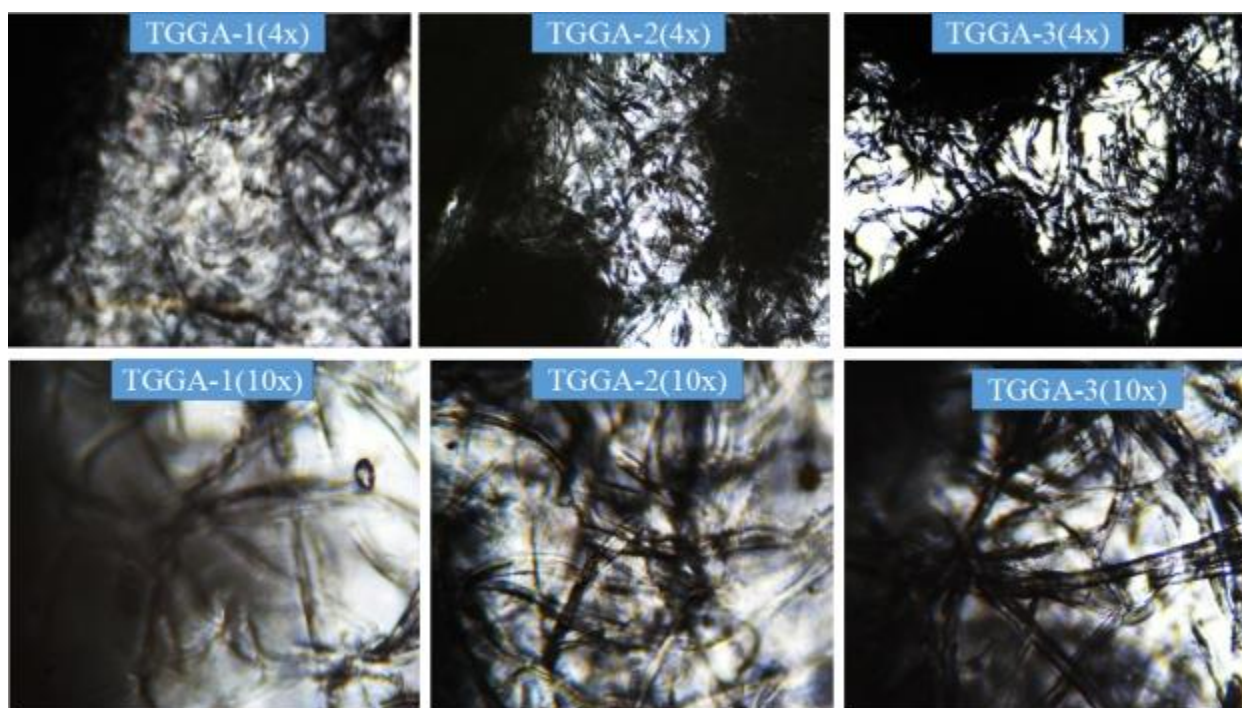


Figure 3. The morphological image of TGA composites

Conclusions

A polymer composites (cellulosic textile waste, gelatin, glycerol, and acetic acid) were produced in this investigation. The study was fixed at 15% w/w of gelatin, 7 ml glycerol, and 6 ml acetic acid through the 2.5% w/w, 5% w/w, and 7%w/w of the textile cellulose waste. The Valorization

of the textile waste for gelatin composite is still underdeveloped. The thickness, morphological structure, tensile strength, and water vapor permeability of the textile waste / gelatin/glycerol / acetic acid were examined. The morphological surface of the composites was highly concerned by the concentration of the textile waste. More fibrous and matrix

structure of TGGA-2 and TGGA-3 composite shows in the higher resolution of the microscope (10x). Further, all the samples are displayed roughness, but there is no visible void area showed. The synthesized composites have shown good tensile strength, elongation rate, and water vapor permeability. The higher concentration of cellulose in the composite material enhanced lower tensile strength and elongation at break and it can be balanced by addition of the glycerol and acetic acid. All in one, the tensile strength, elongation at break, and water vapor permeability of the TGGA composites pointed out the

feasible of the TGGA composites in the food packaging industry. At the last, this way of investigation is also a good trend for green economy policy, because it tries to emphasize waste recycling and minimization of solid environmental pollution.

Acknowledgment

All authors appreciate for Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian Biotechnological University.

References

- 1 Radhakrishnan S. Denim recycling. *Textiles and Clothing Sustainability: Recycled and Upcycled Textiles and Fashion*. 2017. pp. 79-125. doi: 10.1007/978-981-10-2146-6_3
- 2 Wallander M. Why textile waste should be banned from landfills. Retrieved October. 2012. vol. 5. pp. 2013.
- 3 Gómez Gómez J., González Madariaga F., Rosa Sierra L., León Morán R. et al. Scrap denim-PP composites as a material for new product design. *Systems&Design: Beyond Processes and Thinking*. 2016. doi: 10.4995/ifdp.2016.3360
- 4 Wang S., Zhang T., Zhang X., Ge S. et al. Development of 3D needled composite from denim waste and polypropylene fibers for structural applications. *Construction and Building Materials*. 2022. vol. 314. pp. 125583. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.125583.
- 5 Sezgin H., Kucukali-Ozturk M., Berkalp O.B., Yalcin-Enis I. Design of composite insulation panels containing 100% recycled cotton fibers and polyethylene/polypropylene packaging wastes. *Journal of Cleaner Production*. 2021. vol. 304. pp. 127132. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.127132
- 6 Temmink R., Baghaei B., Skrifvars M. Development of biocomposites from denim waste and thermoset bio-resins for structural applications. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2018. vol. 106. pp. 59-69. doi: 10.1016/j.compositesa.2017.12.011
- 7 Meng X., Fan W., Wan Mahari W.A., Ge S. et al. Production of three-dimensional fiber needle-punching composites from denim waste for utilization as furniture materials. *Journal of cleaner production*. 2021. vol. 281. pp. 125321. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125321
- 8 Mendoza-Castillo D.I., Reynel-Ávila H.E., Bonilla-Petriciolet A., Silvestre-Albero J. Synthesis of denim waste-based adsorbents and their application in water defluoridation. *Journal of Molecular Liquids*. 2016. vol. 221. pp. 469-478. doi: 10.1016/j.molliq.2016.06.005
- 9 Zhong T., Dhandapani R., Liang D., Wang J. et al. Nanocellulose from recycled indigo-dyed denim fabric and its application in composite films. *Carbohydrate polymers*. 2020. vol. 240. pp. 116283. doi: 10.1016/j.carbpol.2020.116283
- 10 Haque A.N.M.A., Naebe M. Sustainable biodegradable denim waste composites for potential single-use packaging. *Science of The Total Environment*. 2022. vol. 809. pp. 152239. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.152239
- 11 Zhang X., Liu Y., Yong H., Qin Y. et al. Development of multifunctional food packaging films based on chitosan, TiO₂ nanoparticles and anthocyanin-rich black plum peel extract. *Food hydrocolloids*. 2019. vol. 94. pp. 80-92. doi: 10.1016/j.foodhyd.2019.03.009
- 12 Alizadeh Sani M., Tavassoli M., Salim S.A., Azizi-lalabadi M. et al. Development of green halochromic smart and active packaging materials: TiO₂ nanoparticle-and anthocyanin-loaded gelatin/κ-carrageenan films. *Food Hydrocolloids*. 2022. vol. 124. pp. 107324. doi: 10.1016/j.foodhyd.2021.107324
- 13 Khodaei D., Álvarez C., Mullen A.M. Biodegradable packaging materials from animal processing co-products and wastes: An overview. *Polymers*. 2021. vol. 13. no. 15. pp. 2561. doi:10.3390/polym13152561
- 14 Haghighi H., Biard S., Bigi F., de Leo R. et al. Comprehensive characterization of active chitosan-gelatin blend films enriched with different essential oils. *Food Hydrocolloids*. 2019. vol. 95. pp. 33-42. doi: 10.1016/j.foodhyd.2019.04.019
- 15 Hosseini S.F., Rezaei M., Zandi M., Farahmandghavi F. Development of bioactive fish gelatin/chitosan nanoparticles composite films with antimicrobial properties. *Food chemistry*. 2016. vol. 194. pp. 1266-1274. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.09.004.
- 16 Martucci J.F., Ruseckaite R.A. Antibacterial activity of gelatin/copper (II)-exchanged montmorillonite films. *Food hydrocolloids*. 2017. vol. 64. pp. 70-77. doi: 10.1016/j.foodhyd.2016.10.030
- 17 Hosseini S.F., Rezaei M., Zandi M., Farahmandghavi F. Preparation and characterization of chitosan nanoparticles- loaded fish gelatin- based edible films. *Journal of Food Process Engineering*. 2016. vol. 39. no. 5. pp. 521-530. doi: 10.1111/jfpe.12246
- 18 Temmink R., Baghaei B., Skrifvars M. Development of biocomposites from denim waste and thermoset bio-resins for structural applications. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2018. vol. 106. pp. 59-69. doi: 10.1016/j.compositesa.2017.12.011
- 19 Lee J.T., Kim M.W., Song Y.S., Kang T.J. et al. Mechanical properties of denim fabric reinforced poly (lactic acid). *Fibers and Polymers*. 2010. vol. 11. pp. 60-66. doi: 10.1007/s12221-010-0060-6
- 20 Shankar S., Wang L.F., Rhim J.W. Effect of melanin nanoparticles on the mechanical, water vapor barrier, and antioxidant properties of gelatin-based films for food packaging application. *Food Packaging and Shelf Life*. 2019. vol. 21. pp. 100363. doi: 10.1016/j.fpsl.2019.100363

- 21 Echegaray M., Mondragon G., Martin L., González A. et al. Physicochemical and mechanical properties of gelatin reinforced with nanocellulose and montmorillonite. *Journal of Renewable Materials*. 2016. vol. 4. no. 3. pp. 206-214. doi: 10.7569/JRM.2016.634106
- 22 Ben Z.Y., Samsudin H., Yhaya M.F. Glycerol: Its properties, polymer synthesis, and applications in starch based films. *European Polymer Journal*. 2022. vol. 175. pp. 111377. doi: 10.1016/j.eurpolymj.2022.111377
- 23 Li X., Zhang H., He L., Chen Z. et al. Flexible nanofibers-reinforced silk fibroin films plasticized by glycerol. *Composites Part B: Engineering*. 2018. vol. 152. pp. 305-310. doi: 10.1016/j.compositesb.2018.08.136
- 24 Ili Balqis A.M., Nor Khaizura M.A.R., Russly A.R., Nur Hanani Z.A. Effects of plasticizers on the physicochemical properties of kappa-carrageenan films extracted from *Eucheuma cottonii*. *International journal of biological macromolecules*. 2017. vol. 103. pp. 721-732. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.05.105
- 25 Kalantarmahdavi M., Salari A., Pasdar Z., Amiryousefi M.R. Edible hyaluronic acid- rich burger separator discs prepared from slaughterhouse waste. *Food Science & Nutrition*. 2022. vol. 10. no. 10. pp. 3515-3526. doi: 10.1002/fsn3.2740.
- 26 Fatima S., Mir M.I., Khan M.R., Sayyed R.Z. et al. The optimization of gelatin extraction from chicken feet and the development of gelatin based active packaging for the shelf-life extension of fresh grapes. *Sustainability*. 2022. vol. 14. no. 13. pp. 7881. doi: 10.3390/su14137881
- 27 Said N.S., Sarbon N.M. Response surface methodology (RSM) of chicken skin gelatin based composite films with rice starch and curcumin incorporation. *Polymer Testing*. 2020. vol. 81. pp. 106161. doi: 10.1016/j.polymertesting.2019.106161
- 28 Xiao C., Zhang Z., Zhang J., Lu Y. et al. Properties of regenerated cellulose films plasticized with α - monoglycerides. *Journal of applied polymer science*. 2003. vol. 89. no. 13. pp. 3500-3505. doi: 10.1002/app.12509
- 29 Hubbe M.A., Ferrer A., Tyagi P., Yin Y. et al. Nanocellulose in thin films, coatings, and plies for packaging applications: A review. *BioResources*. 2017. vol. 12. no. 1. pp. 2143-2233. doi: 10.15376/biores.12.1.2143-2233
- 30 Tyuftin A.A., Kerry J.P. Gelatin films: Study review of barrier properties and implications for future studies employing biopolymer films. *Food Packaging and Shelf Life*. 2021. vol. 29. pp. 100688. doi: 10.1016/j.fpsl.2021.100688

Information about authors

Contribution

Emiru Y. Melesse graduate student, industrial design packaging technologies and expertise department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian Biotechnological University, Volokolamskoye Shosse, 11, Moscow, 125080, Russia emydm12@gmail.com

wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

 <https://orcid.org/0000-0002-0871-787X>

Yulia A. Filinskaya Cand. Sci. (Tech.), associate professor, industrial design packaging technologies and expertise department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian Biotechnological University, Volokolamskoye Shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, filinskayaya@mgupp.ru

review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

 <https://orcid.org/0000-0002-2307-6046>

Irina A. Kirsh Dr. Sci. (Chem.), professor, industrial design packaging technologies and expertise department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian Biotechnological University, Volokolamskoye Shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, irina-kirsh@ya.ru

consultation during the study

 <https://orcid.org/0000-0003-3370-4226>

Ali Y. Alkhair graduate student, industrial design packaging technologies and expertise department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian Biotechnological University, Volokolamskoye Shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, alkheerali@gmail.com

wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

 <https://orcid.org/0000-0002-9518-7781>

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 19/01/2024

Accepted in revised 05/02/2024

Accepted 20/02/2024

Валоризация и характеристика физико-механических свойств текстильных отходов для полимерных композитов

Аннотация. Экологический кризис текстильных отходов в мире усилился из-за роста модных показов, индустриализации и увеличения спроса. Несмотря на огромное количество текстильных отходов, их утилизация пока не проводилась, за исключением небольшого исследования. В настоящей работе подчеркнут механический и проницаемый характер синтеза полимеров ТГГА-композитов (отходы текстильной промышленности, желатин, глицерин и уксусная кислота), фиксированных при 15% мас. желатина, 7 мл глицерина, 6 мл уксусной кислоты через 2,5% раствор. по весу, 5% по весу и 7% по весу от количества отходов целлюлозы. Таким образом, прочность на разрыв композита TGGA 2 оказалась выше, чем у TGGA 1 и TGGA 3, благодаря равномерному распределению количества отходов текстильной целлюлозы. Тем не менее, удлинение при разрыве и паропроницаемость уменьшались с увеличением количества текстильных отходов. Морфологическая структура синтезированных композитов, таких как хлопковые волокна и матрицы, имела видимую, шероховатую и непустотную область во всех образцах. Кроме того, введение пластификаторов подтвердило, что композиты TGGA демонстрируют лучшую растяжимость и гибкость по сравнению с непластифицируемыми композитными пленками, о которых в настоящее время сообщается в литературе. Важно отметить, что полученные композиты по функциональности эквивалентны оригинальным упаковочным материалам, представляющим собой конвекционные и природные полимеры.

Ключевые слова: текстильные отходы, желатин, композиты, глицерин, физико-механические свойства, валоризация.

Имру И. Мелесе аспирант, кафедра промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское шоссе, д. 11, Москва, 125080, Россия emydm12@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-0871-787X>

Ирина А. Кириш д.х.н., профессор, кафедра промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское шоссе, д. 11, Москва, 125080, Россия, irina-kirsh@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3370-4226>

Юлия А. Филинская к.т.н., доцент, кафедра промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское шоссе, д. 11, Москва, 125080, Россия, filinskayaya@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2307-6046>

Али Я. Альхаир аспирант, кафедра промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское шоссе, д. 11, Москва, 125080, Россия, alkheerali@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-9518-7781>

Замена испаряющего агента на колонне К-1 установки первичной переработки нефти

Сергей В. Попов¹ svpopov2018@ya.ru  0000-0003-0533-9049
Нина А. Плешакова¹ napleshakova63@ya.ru .
Денис И. Куц¹ svpopov2018@ya.ru .

¹ Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия

Аннотация. В схему установок первичной переработки нефти могут быть включены аппарат (сепаратор) предварительного разделения углеводородов, отводящий часть лёгких углеводородов и частично фракцию лёгкого бензина, или колонна для частичного отбензинивания нефти К-1. Предварительное фракционирование в этих аппаратах имеет существенное значение для ресурсосбережения предприятия, так как такие схемы обеспечивают снижение расхода тепла на подогрев сырой нефти перед фракционированием в основной атмосферной колонне. На эффективность работы колонны К-1 оказывает влияние не только качество нефти, технологические режимы и конструкционные параметры аппарата, но и используемые испаряющие агенты. В работе показана возможность использовать в колонне К-1 вместо водяного пара её дистиллят с организацией рекуперации теплоты потоками колонны и проводится сравнение достигаемых показателей работы аппарата при использовании этих испаряющих агентов. Исследования проводили с использованием моделирующей системы UniSim Design. Сравнительную оценку применения различных испаряющих агентов проводили с учётом качества и выхода фракций с верха колонны К-1. Результаты вычислительного эксперимента показали, что чувствительность показателей работы колонны К-1 (фракционного состава дистиллята) на варьирование температуры подаваемого в колонну рециркулирующего дистиллята до 160 °С низкая, то есть не наблюдается заметное изменение фракционного состава дистиллята, а при температурах выше 160 °С состав практически не изменяется. Целесообразное количество рециркулируемого в колонну дистиллята как испаряющего агента составляет ~1% масс. от расхода сырья. Рассчитанные температурные кривые по высоте колонны имеют близкий характерный вид, хотя температуры верха и низа аппарата (69,8 °С и 226,1 °С) отличаются от соответствующих температур колонны с использованием водяного пара (54,6 °С и 187,1 °С). При использовании в качестве испаряющего агента дистиллята колонны достигается чёткое частичное отбензинивание нефти, отсутствует «увлажнение» выходных потоков и наблюдается увеличение в потоке дистиллята содержания фракций нк-180 °С. Последнее важно для технологических схем, в которых используется узел вторичной перегонки бензина на фракции нк-80 °С, 60-90 °С и 80-180 °С. Для подогрева дистиллята перед его подачей в низ колонны К-1 возможна рекуперация тепла потоками основной атмосферной колонны.

Ключевые слова: переработка нефти, отбензинивание нефти, испаряющий агент, бензиновая фракция, моделирование, UniSim Design

Replacement of the evaporating agent on the K-1 column of the primary oil refining unit

Sergey V. Popov¹ svpopov2018@ya.ru  0000-0003-0533-9049
Nina A. Pleshakova¹ napleshakova63@ya.ru .
Denis I. Kuts¹ svpopov2018@ya.ru .

¹ Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia

Abstract. An apparatus (separator) for the preliminary separation of hydrocarbons, which removes part of light hydrocarbons and partially a fraction of light gasoline, or a column for partial oil refining K-1, can be included in the scheme of primary oil refining units. Preliminary fractionation in these devices is essential for the resource saving of the enterprise, since such schemes ensure a reduction in heat consumption for heating crude oil before fractionation in the main atmospheric column. The efficiency of the K-1 column is influenced not only by the quality of oil, technological modes and structural parameters of the apparatus, but also by the evaporating agents used. The paper shows the possibility of using its distillate in the K-1 column instead of water vapor with the organization of heat recovery by column flows and compares the achieved performance of the apparatus using these evaporating agents. The research was carried out using the UniSim Design modeling system. A comparative assessment of the use of various evaporating agents was carried out taking into account the quality and yield of fractions from the top of the K-1 column. The results of the computational experiment showed that the sensitivity of the K-1 column (fractional distillate composition) to varying the temperature of the recirculating distillate supplied to the column to 160 °C is low, that is, there is no noticeable change in the fractional composition of the distillate, and at temperatures above 160 °C the composition practically does not change. The appropriate amount of distillate recycled into the column as an evaporating agent is ~ 1% by weight. from the consumption of raw materials. The calculated temperature curves for the height of the column have a similar characteristic appearance, although the temperatures of the top and bottom of the apparatus (69.8 °C and 226.1 °C) differ from the corresponding column temperatures using water vapor (54.6 °C and 187.1 °C). When using the distillate of the column as an evaporating agent, a clear partial oil refining is achieved, there is no "humidification" of the output streams and an increase in the content of nk-180 °C fractions in the distillate stream is observed. The latter is important for technological schemes that use a gasoline secondary distillation unit for fractions nk-80 °C, 60-90 °C and 80-180 °C. To heat the distillate before it is fed to the bottom of the K-1 column, heat recovery by the flows of the main atmospheric column is possible.

Keywords: oil refining, oil topping, evaporating agent, gasoline fraction, modeling, UniSim Design

Для цитирования

Попов С.В., Плешакова Н.А., Куц Д.И. Замена испаряющего агента на колонне К-1 установки первичной переработки нефти // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 249–257. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-249-257

For citation

Popov S.V., Pleshakova N.A., Kuts D.I. Replacement of the evaporating agent on the K-1 column of the primary oil refining unit. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 249–257. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-249-257

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Установки первичной переработки нефти составляют основу всех нефтеперерабатывающих заводов, от работы которых зависит качество и выходы получаемых компонентов топлив, а также сырья для вторичных и других процессов переработки нефти. Схема фракционирования нефти состоит из различных массообменных и теплообменных аппаратов, при этом основное фракционирование происходит в атмосферной колонне [1, 2]. В схему установок могут быть включены аппарат (сепаратор) предварительного разделения углеводородов, отводящий часть лёгких углеводородов и частично фракцию лёгкого бензина, или колонна для частичного отбензинивания нефти. Предварительное фракционирование в этих аппаратах имеет существенное значение для ресурсосбережения предприятия, так как такие схемы обеспечивают снижение расхода тепла на подогрев сырой нефти перед фракционированием в основной атмосферной колонне [3, 4]. Оптимизация работы аппаратов предварительного фракционирования с целью минимизации энергозатрат рассматривается в работах [5–7].

Энерго- и термодинамическая эффективность использования колонны частичного отбензинивания показана в исследовании [8]. Отмечается, что установка с двумя колоннами (предварительной и основной) имеет более низкие эксплуатационные и капитальные затраты.

Комплексный технико-экономический анализ наиболее часто используемых технологических схем фракционирования нефти представлен в работе [9], позволивший авторам снизить нагрузку на печи и уменьшить затраты на электроэнергию.

С целью увеличения прибыли предприятия оптимальные условия работы установки перегонки сырой нефти оцениваются в исследовании [10] с использованием алгоритма многоцелевой оптимизации с целевыми функциями прибыль, выбросы CO_2 , затраты на энергию и общий объём дистиллята.

На эффективность работы колонны частичного отбензинивания нефти К-1 оказывают влияния не только качество нефти, технологические режимы и конструкционные параметры аппарата, но и используемые испаряющие агенты. В настоящее время наиболее используемым испаряющим агентом является водяной пар. Его преимущество заключается в понижении парциального давления компонентов сырья, следовательно, кипение происходит при более низких температурах [11, 12].

К числу недостатков использования пара относятся увеличение затрат энергии (тепла и холода) на перегонку и конденсацию, повышение

нагрузки колонн по парам, что требует увеличение диаметра колонны, обводнение нефтепродуктов и необходимость их последующей сушки, интенсификация коррозии конструкционных материалов и образование дополнительных количеств сточных вод и другое [13, 14].

В эвапораторе (колонна К-1) установки первичной переработки нефти выполняется её частичное отбензинивание. Выделение бензиновой фракции в этой колонне возможно с использованием различных испаряющих агентов – водяного пара, фракций основной атмосферной колонны [15].

При использовании водяного пара в качестве испаряющего агента для разделения углеводородов в промышленных условиях возникают практические вопросы. В частности, четкость разделения фракций зависит от его характеристик и расхода, функционально зависящего от компонентного состава нефти, увеличиваются энергозатраты на перегонку и другие [16, 17].

В работах [18, 19] показана возможность замены водяного пара на фракцию углеводородов $\text{C}_1\text{--C}_4$, получаемую после разделения газожидкостного потока верха колонны К-1, а также показана возможность использования флегмы основной колонны. При использовании последней на действующей установке имеются определённые сложности, связанные с транспортировкой фракции от основной атмосферной колонны до эвапоратора и другие.

Несмотря на то, что пар частично снижает температуру кипения сырой смеси и дополнительно испаряет смесь сырой нефти, проявляется тенденция к существенному ограничению применения водяного пара и к переводу установок на технологию «сухой» перегонки или в качестве испаряющего агента использовать легкие нефтяные фракции.

Цель работы – оценка возможности использовать в колонне К-1 вместо водяного пара её дистиллят с организацией рекуперации теплоты потоками колонны и сравнение достигаемых показателей работы аппарата при использовании этих испаряющих агентов.

Методы

Объектом исследования является колонна К-1 (эвапоратор) установки первичной переработки нефти. Исследования выполнены с использованием моделирующей программы UniSim Design [20].

Для проведения исследований была взята нефть, разгонка которой и количественный фракционный состав показаны на рисунке 1 и рисунке 2. Потенциальное содержание бензиновой фракции составляет ~18% масс. или порядка 31500 кг/ч при расходе сырой нефти 175000 кг/ч (199 м³/ч).

При моделировании работы колонны К-1 будем использовать нагрузки и технологические режимы промышленной установки с последующим сравнением достигаемых показателей работы аппарата с рассматриваемыми для нагрева и испарения сырья агентами.

Колонна К-1 содержит 22 тарелки с трапецевидными клапанами: № 1÷12 однопоточные, № 13÷17 двухпоточные, № 18÷22 двухпоточные. На рисунке 3 показана модель «типовой» промышленной колонны К-1.

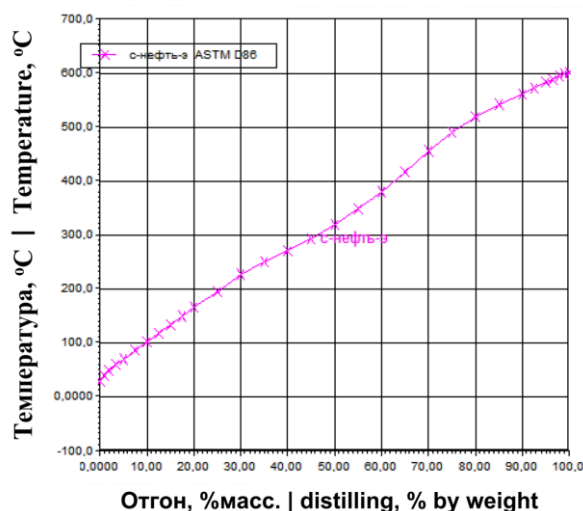


Рисунок 1. ASTM D86 разгонка сырой нефти: плотность 880,3 кг/м³; молярная масса 205 кг/кмоль

Figure 1. ASTM D86 crude oil distillation: density 880.3 kg/m³; molar mass 205 kg/kmol

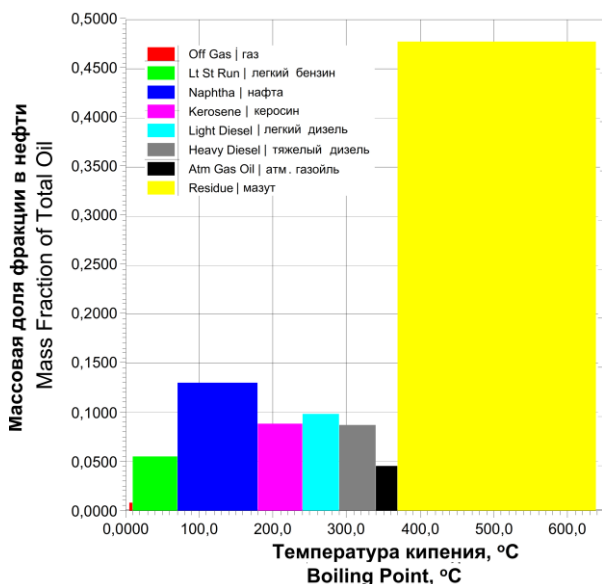


Рисунок 2. Количественный фракционный состав сырой нефти

Figure 2. Quantitative fractional composition of crude oil

Входные технологические потоки сырья **с-нефть-э** и **г-с-э** поступают на тарелки 13 и 18 соответственно. Принята эффективность контактных устройств $\kappa_{\text{пд}} = 0,8$. В парциальном конденсаторе паровая фаза верха колонны К-1 разделяется на топливный газ (поток **газ-э**) и фракцию нестабильного бензина (поток **бензин-э**), часть которой идёт в виде флегмы на орошение колонны, а оставшаяся балансовая часть насосом подаётся на стабилизацию бензиновой фракции. Кубовый продукт (поток **отб-нефть-э**) поступает на основную атмосферную колонну.

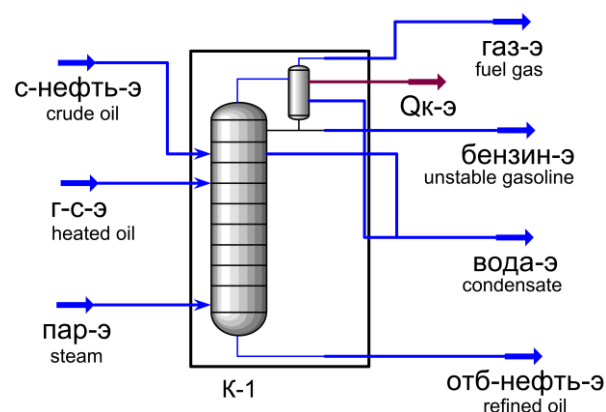


Рисунок 3. Схема колонны К-1

Figure 3. Diagram of the K-1 column

При проведении расчётов в качестве фиксированных управляющих параметров принимали величину отбора нестабильного бензина в количестве 13480 кг/ч и отбор газовой фракции 300 кг/ч. Эти величины были взяты в качестве активных спецификаций для обеспечения сходимости итерационных расчётов, проводимых моделирующей средой.

Рассчитанные технологические режимы колонны К-1 и компонентный состав лёгкой бензиновой и газовой фракций приведены в таблице 1 – таблице 2 (синим цветом выделены задаваемые технологические параметры, чёрным – рассчитанные значения).

Из таблицы 1 и таблицы 2 видно, что на эвaporаторе К-1 при расходе пара ~1% мас. от сырья, отборе дистиллята $G = 13480$ кг/ч и отборе газа ~300 кг/ч рассчитанная температура конца кипения бензиновой фракции $T_{\text{кк}} = 80$ °С, следовательно, на колонне из сырьевого потока отбирается некоторое количество лёгких углеводородов и какое-то количество лёгкой бензиновой фракции.

Таблица 1.

Технологические режимы (а, б) колонны К-1 с использованием пара

Table 1.

Technological modes (a, b) of the K-1 column using steam

Название потока Stream Name	пар-э steam	с-нефть-э raw oil	г-с-э heated oil	отб-нефть-э stripped oil
Доля паровой фазы Vapour / Phase Fraction	1,0000	0,1871	0,4798	0,0000
Температура, °C Temperature, °C	343,0	232,0	316,0	187,1
Давление, кПа Pressure, kPa	1034	517,1	517,1	350,0
Молярный поток, кмоль/ч Molar Flow, kmole/h	94,37	836,5	17,07	660,4
Массовый поток, кг/ч Mass Flow, kg/h	1700	1,715 e + 005	3500	1,614 e + 005
Объёмный расход, м³/ч Std Ideal Lig Vol Flow, m³/h	1,703	194,9	3,978	179,2
Молярная энтальпия, кДж/кгмоль Molar Enthalpy, kJ/kgmole	-2,302 e + 005	-3,480 e + 005	-2,911 e + 005	-4,496 e + 005
Молярная энтропия, кДж/кгмоль °C Molar Entropy, kJ/kgmole °C	179,2	456,3	560,3	491,7
Тепловой поток, кДж/ч Heat Flow, kJ/h	-2,173 e + 007	-2,911 e + 008	-4,970 e + 006	-2,969 e + 008

(a)

Название потока Stream Name	газ-э gas	бензин-э petrol	вода-э condensate
Доля паровой фазы Vapour / Phase Fraction	1,0000	0,0000	0,0000
Температура, °C Temperature, °C	54,57	54,57	54,57
Давление, кПа Pressure, kPa	300	300	300
Молярный поток, кмоль/ч Molar Flow, kmole/h	5,433	196,0	86,04
Массовый поток, кг/ч Mass Flow, kg/h	300,0	1,348 e + 004	1550
Объёмный расход, м³/ч Std Ideal Lig Vol Flow, m³/h	0,4795	19,38	1,553
Молярная энтальпия, кДж/кгмоль Molar Enthalpy, kJ/kgmole	-1,201 e + 005	-1,510 e + 005	-2,831 e + 005
Молярная энтропия, кДж/кгмоль °C Molar Entropy, kJ/kgmole °C	114,1	7,195	61,05
Тепловой поток, кДж/ч Heat Flow, kJ/h	-6,524 e + 005	-2,960 e + 007	-2,436 e + 007

(b)

Таблица 2.

Компонентный состав нестабильного бензина (а, б) колонны К-1 с использованием водяного пара

Table 2.

The component composition of unstable gasoline (a, b) of the K-1 column using water vapor

Название углеводорода The Name of the hydrocarbon	масс. доля mass fractions
Метан Methane	0,000091
Этан Ethane	0,000796
Пропан Propane	0,020680
Изобутан i-Butane	0,018641
н-Бутан n-Butane	0,067169
H ₂ O H ₂ O	0,000444
ИТК(0)9* NBP(0)9*	0,093888
ИТК(0)20* NBP(0)20*	0,143429
ИТК(0)34* NBP(0)34*	0,142405
ИТК(0)47* NBP(0)47*	0,144368
ИТК(0)60* NBP(0)60*	0,144297
ИТК(0)74* NBP(0)74*	0,146282

(a)

Название углеводорода The Name of the hydrocarbon	масс. доля mass fractions
ИТК(0)86* NBP(0)86*	0,076824
ИТК(0)101* NBP(0)101*	0,000676
ИТК(0)114* NBP(0)114*	0,000009
ИТК(0)127* NBP(0)127*	0,000000
ИТК(0)140* NBP(0)140*	0,000000
ИТК(0)154* NBP(0)154*	0,000000
ИТК(0)167* NBP(0)167*	0,000000
ИТК(0)180* NBP(0)180*	0,000000
ИТК(0)194* NBP(0)194*	0,000000
ИТК(0)207* NBP(0)207*	0,000000
Итого Total	1,000000

(b)

Результаты и обсуждение

Как отмечено выше, использование водяного пара в качестве испаряющего агента для разделения углеводородов в промышленных условиях имеет ряд существенных недостатков.

В работе [19] отмечена возможность замены водяного пара на углеводородные фракции основной атмосферной колонны. Однако, при использовании последних имеются определённые сложности и проблемы, связанные с транспортировкой фракций от атмосферной колонны до эвапоратора и другие.

Ниже рассматривается возможность использовать в колонне К-1 вместо водяного пара её дистиллят с организацией рекуперации теплоты потоками колонны.

На рисунке 4 приведена разработанная модель схемы обвязки колонны К-1 с насосным и теплообменным оборудованием, в которой выполнена замена водяного пара на использование её дистиллята – фракции нестабильного бензина. Схема самой колонны без обвязки показана на рисунке 5.

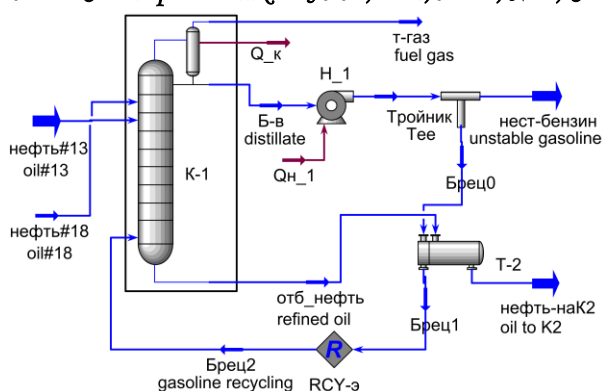


Рисунок 4. Фрагмент предлагаемой схемы обвязки колонны К-1

Figure 4. A fragment of the proposed K-1 column strapping scheme

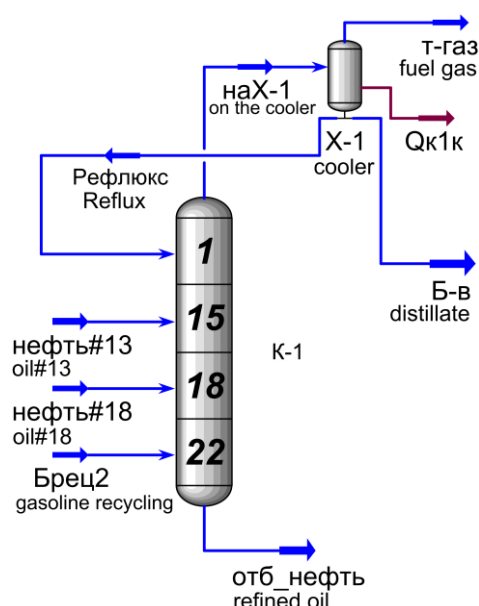


Рисунок 5. Схема колонны К-1 с парциальным конденсатором и рециркулирующим дистиллятом

Figure 5. Diagram of the K-1 column with a partial condenser and recirculating distillate

Входные технологические потоки сырья **нефть#13** и **нефть#18**, поступающие на тарелки 13 и 18 соответственно, по составу и режимным параметрам аналогичны рассмотренным выше сырьевым потокам **с-нефть-э** и **г-с-э**. В парциальном конденсаторе X-1, показанном на рисунке 5, паровая фаза (поток **наX-1**) верха колонны K-1 разделяется на топливный газ (поток **т-газ**) и фракцию нестабильного бензина, часть которой идёт в виде флегмы на орошение колонны (поток **Reflux**, а оставшаяся балансовая часть (поток **Б-в**) насосом Н-1 подаётся на **Тройник** (рисунок 4). Здесь происходит разделение потока **Б-из** на две части: большая часть (до 90% масс.) – технологический поток нестабильного бензина **нест-бензин**, направляющийся на колонну стабилизации бензина, оставшееся балансовое количество (поток **Брен0**) предназначено для рециркулирования в колонну K-1.

Для подогрева поток Брец0 поступает в рекуперативный теплообменник Т-2, теплоносителем в котором является кубовый остаток колонны (поток **отб_нефть**), откуда горячий поток Брец2 подаётся под 22-ю тарелку колонны. Из теплообменника Т-2 частично отбензиненная нефть (поток **нефть-наК2**) направляется на основную атмосферную колонну К-2 (на схеме не показана).

Рассчитанные технологические режимы и компонентный состав нестабильного бензина колонны К-1 приведены в таблице 3 – таблице 4.

Отметим, что чувствительность показателей работы колонны К-1 (фракционного состава дистиллята) на варьирование температуры подаваемого в колонну рециркулирующего дистиллята от 120 °С до 160 °С низкая, то есть не наблюдается заметное изменение фракционного состава дистиллята, а при температурах выше 160 °С состав практически не изменяется.

Расчёты показали, что изменение количества рециркулируемого в колонну дистиллята влияет на состав нестабильного бензина. В частности, при подаче 1% масс. от сырья получали октановое число по исследовательскому методу ОЧИ = 71,5 с содержанием парафиновых, нафтеновых и ароматических углеводородов (PNA) 60,72; 31,32 и 7,96% мол. соответственно. При подаче дистиллята в количестве 3% масс. от сырья получили ОЧИ = 69,4 с содержанием PNA 58,31; 32,0 и 9,69% мол.

Сравнительную оценку применения рассмотренных испаряющих агентов проводили с учётом качества и выхода фракций с верха колонны К-1.

Результаты разгонки получаемой фракции нестабильного бензина при использовании в качестве испаряющего агента водяного пара и дистиллята колонны показаны на рисунке 6, температурные профили по высоте колонны приведены на рисунке 7.

Сравнение с результатами, полученными для колонны К-1 с использованием водяного пара, показывает, что при использовании в качестве испаряющего агента дистиллята колонны достигается чёткое частичное отбензинивание нефти, отсутствует «увлажнение» выходных потоков и наблюдается увеличение в потоке дистиллята содержания фракций нк-180 °С, то есть в колонне увеличивается степень отбензинивания и увеличивается отбор суммы бензиновых фракций от потенциала их содержания в нефти. Последнее важно для технологических схем, в которых используется узел вторичной перегонки бензина на фракции нк-80 °С, 60–90 °С и 80–180 °С.

Рассчитанные температурные кривые по высоте колонны имеют близкий характерный вид, хотя температуры верха и низа аппарата (69,8 °C и 226,1 °C) отличаются от соответствующих температур предыдущей схемы (54,6 °C и 187,1 °C).

Таблица 3.

Технологические режимы (а, б) колонны К-1 с использованием в качестве испаряющего агента дистиллята колонны

Table 3.

Technological modes (a, b) of the K-1 column using distillate of the column as an evaporating agent

Название потока Stream Name	Брен2 Gasoline recycling	нефть#13 oil#13	нефть#18 oil#18	отб-нефть stripped oil
Доля паровой фазы Vapour / Phase Fraction	0,6945	0,1871	0,4798	0,0000
Температура, °C Temperature, °C	120,0	232,0	316,0	226,1
Давление, кПа Pressure, kPa	340,0	517,1	517,1	350,0
Молярный поток, кмоль/ч Molar Flow, kmole/h	50,22	836,5	17,07	678,2
Массовый поток, кг/ч Mass Flow, kg/h	4025	1,715 e + 005	3500	1,611 e + 005
Объёмный расход, м³/ч Std Ideal Lig Vol Flow, m³/h	5,569	194,9	3,978	179,6
Молярная энтальпия, кДж/кгмоль Molar Enthalpy, kJ/kgmole	-1,460 e + 005	-3,480 e + 005	-2,911 e + 005	-4,100 e + 005
Молярная энтропия, кДж/кгмоль °C Molar Entropy, kJ/kgmole °C	101,7	456,3	560,3	527,5
Тепловой поток, кДж/ч Heat Flow, kJ/h	-7,331 e + 006	-2,911 e + 008	-4,970 e + 006	-2,781 e + 008

(a)

Название потока Stream Name	т-газ fuel gas	Б-в distillate
Доля паровой фазы Vapour / Phase Fraction	1,0000	0,0000
Температура, °C Temperature, °C	69,81	69,81
Давление, кПа Pressure, kPa	300	300
Молярный поток, кмоль/ч Molar Flow, kmole/h	7,297	218,3
Массовый поток, кг/ч Mass Flow, kg/h	427,1	1,750 e + 004
Объёмный расход, м³/ч Std Ideal Lig Vol Flow, m³/h	0,6813	24,21
Молярная энтальпия, кДж/кгмоль Molar Enthalpy, kJ/kgmole	-1,143 e + 005	-1,718 e + 005
Молярная энтропия, кДж/кгмоль °C Molar Entropy, kJ/kgmole °C	115,8	32,16
Тепловой поток, кДж/ч Heat Flow, kJ/h	-8,343 e + 005	-3,750 e + 007

(b)

Таблица 4.

Компонентный состав нестабильного бензина (а, б) колонны К-1 с использованием в качестве испаряющего агента дистиллята колонны

Table 4.

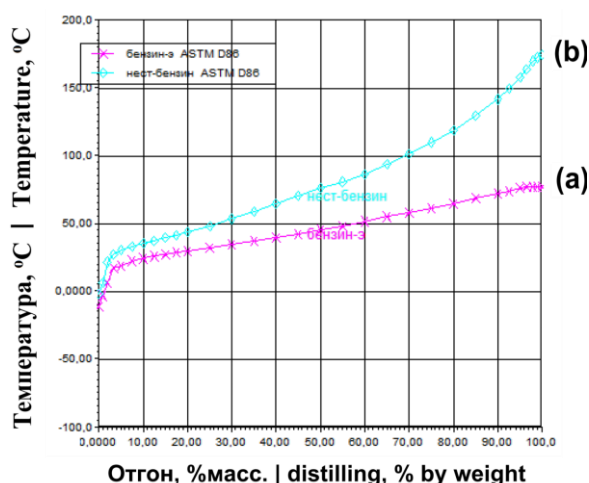
The component composition of unstable gasoline (a, b) of the K-1 column using the distillate of the column as an evaporating agent

Название углеводорода The Name of the hydrocarbon	масс. доля mass fractions
Метан Methane	0,000058
Этан Ethane	0,000535
Пропан Propane	0,014320
Изобутан i-Butane	0,012666
н-Бутан n-Butane	0,045008
H2O H2O	0,000000
ИТК(0)9* NBP(0)9*	0,058589
ИТК(0)20* NBP(0)20*	0,086929
ИТК(0)34* NBP(0)34*	0,083239
ИТК(0)47* NBP(0)47*	0,081864
ИТК(0)60* NBP(0)60*	0,079871
ИТК(0)74* NBP(0)74*	0,083968

(a)

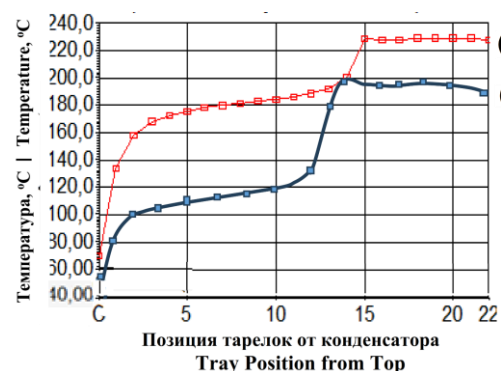
Название углеводорода The Name of the hydrocarbon	масс. доля mass fractions
ИТК(0)86* NBP(0)86*	0,094333
ИТК(0)101* NBP(0)101*	0,064747
ИТК(0)114* NBP(0)114*	0,068734
ИТК(0)127* NBP(0)127*	0,061143
ИТК(0)140* NBP(0)140*	0,052135
ИТК(0)154* NBP(0)154*	0,042665
ИТК(0)167* NBP(0)167*	0,033628
ИТК(0)180* NBP(0)180*	0,024730
ИТК(0)194* NBP(0)194*	0,010275
ИТК(0)207* NBP(0)207*	0,000546
Итого Total	1,000000

(b)



(b)

(a)



(b)

(a)

Рисунок 6. ASTM D86 разгонка фракции нестабильного бензина, полученной с испаряющим агентом водяным паром (а) и дистиллятом (б) (распечатка в моделирующей среде)

Figure 6. ASTM D86 dispersal fraction of unstable gasoline obtained with vaporizing agent water vapor (a) and distillate (b) (printout in a modeling environment)

Рисунок 7. Температурный профиль по высоте колонны К-1 с испаряющим агентом водяным паром (а) и дистиллятом (б) (распечатка в моделирующей среде)

Figure 7. Temperature profile along the height of the K-1 column with vaporizing agent water vapor (a) and distillate (b) (printout in a modeling environment)

Результаты проектного расчёта «ожидаемых» конструктивных параметров колонны К-1 с разными испаряющими агентами показаны в таблице 5.

Таблица 5.

«Ожидаемые» конструкционные параметры колонны К-1 с использованием в качестве испаряющего агента водяного пара и дистиллята

Table 5.

The "expected" design parameters of the K-1 column using water vapor and distillate as an evaporating agent

Испаряющий агент Evaporating agent	Водяной	пар Water	vapor	Дистиллят	Distillate	
Секция Section	Секция-1 Section-1	Секция-2 Section-2	Секция-3 Section-3	Секция-1 Section-1	Секция-2 Section-2	Секция-3 Section-3
Тип тарелки Internals	Клапанные Valve	Клапанные Valve	Клапанные Valve	Клапанные Valve	Клапанные Valve	Клапанные Valve
Диаметр, м Diameter, m	2,438	1,981	1,829	1,829	1,981	1,829
Мах затопление, % Max Flooding, %	78,29	60,08	52,84	65,53	45,07	31,41
Х-поверхность, м² X-Area, m²	4,670	3,083	2,627	2,207	3,083	2,627
Высота, м Height, m	7,315	2,400	2,500	3600	2,500	2,250
Дельта Р, кПа Delta P, kPa	9,612	3,101	3,113	5,173	2,460	2,917
Поточность Number of Flow Paths	1	2	2	1	2	2
Длина потока, мм Flow Length, mm	1740	444,5	330,2	1321	482,6	215,9
Ширина потока, мм Flow Width, mm	2212	1773	1638	1481	1764	1630
Max DP/тарелка, кПа Max DP/Tray, kPa	0,838	0,640	0,637	0,439	0,577	0,587
Общая длина слива, мм Total Weir Length, mm	1708	3502	3296	1032	3458	3382
Высота слива, мм Weir Heigh, mm	50,80	50,80	50,80	50,80	50,80	50,80
Активная поверхность, м² Active Area, m²	3,848	1,576	1,082	1,957	1,957	0,7039

При использовании рассматриваемых испаряющих агентов рассчитываются достаточно близкие нагрузки и параметры по высоте колонны: секция 1 (тарелки 1–12) секция 2 (тарелки 13–17) и секция 3 (тарелки 18–22). Следовательно, в колонне К-1 будет достигаться устойчивая работа контактных устройств, что подтверждает возможность промышленного использования дистиллята колонны в качестве испаряющего агента.

В приведенной выше схеме (рисунок 4) подогрев дистиллята перед его подачей в низ колонны К-1 проводится в рекуперативном теплообменнике потоком кубового продукта колонны. В качестве других целесообразных вариантов возможна рекуперация тепла потоками основной атмосферной колонны.

Заключение

В колонне частичного отбензинивания нефти К-1 в качестве испаряющих агентов в промышленных условиях используют водяной пар, возможно применение газовой фазы С₁–С₄, фракций основной атмосферной колонны.

Проведенный вычислительный эксперимент в программной моделирующей системе UniSim Design показал, что на колонне К-1 возможно использовать в качестве испаряющего агента дистиллят самой колонны, при этом варьирование технологических режимов колонны позволяет достигать требуемый отбор дистиллята, регулировать его фракционный состав и содержание в нём фракций нк-180 °С. Вместе с тем, на установке снижается потребление пара.

Литература

- 1 Rahman S.A., Anjana R. Unisim Based Simulation and Analysis of Crude Oil Distillation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2021. V. 1114. №. 1. P. 012094.
- 2 Patrascioiu C., Jamali M. Crude distillation process simulation using Unisim Design simulator // International Journal of Chemical and Molecular Engineering. 2018. V. 12. №. 7. P. 340–346.
- 3 Al-Muslim H., Dincer I., Zubair S.M. Exergy analysis of single-and two-stage crude oil distillation units // J. Energy Resour. Technol. 2003. V. 125. №. 3. P. 199–207.
- 4 Rivero R. Application of the exergy concept in the petroleum refining and petrochemical industry // Energy conversion and Management. 2002. V. 43. №. 9-12. P. 1199-1220.
- 5 Ledezma-Martínez M., Jobson M., Smith R. Simulation–optimization-based design of crude oil distillation systems with preflash units // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2018. V. 57. №. 30. P. 9821–9830.
- 6 Kamisli F., Ahmed A.A. Simulation and Optimization of A Crude Oil Distillation Unit // Turkish Journal of Science and Technology. 2019. V. 14. №. 2. P. 59–68.
- 7 Yang K. et al. Improving energy saving of crude oil distillation units with optimal operations // Journal of cleaner production. 2020. V. 263. P. 121340.
- 8 Kim Y.H. An Energy-Efficient Crude Distillation Unit with a Prefractionator // Chemical Engineering & Technology. 2017. V. 40. №. 3. P. 588-597. doi: 10.1002/ceat.201600387
- 9 Kumar S., Mhetre A. S. Comparative techno-economic evaluation of potential processing schemes for petroleum crude oil distillation // Results in Engineering. 2022. V. 14. P. 100480. doi: 10.1016/j.rineng.2022.100480

- 10 Jumaah A.F., Amooey A.A., Nabavi S.R. Simulation Multi-Objective Particle Swarm Optimization of a Crude Oil Distillation Unit // *Chemical Engineering & Technology*. 2023. V. 46. №. 2. P. 270-278. doi: 10.1002/ceat.202200386
- 11 Чуракова С.К., Богатых К.Ф., Нестеров И.Д. Влияние способа подвода тепла на энергозатраты в процессе частичного отбензинивания нефти // *Актуальные проблемы технических, естественных и гуманитарных наук: материалы Международной научно-технической конференции*. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2009. С. 106.
- 12 Пат. № 2375408, RU, C10G 7/06. Способ перегонки нефти / Биктимиров Ф.С. № 2008120247/04; Заявл. 21.05.2008; Опубл. 10.12.2009, Бюл. № 34.
- 13 Казанцев А.И., Кожухова Н.Ю. Пути повышения эффективности работы отбензинивающей колонны блока АВТ // *Молодые ученые в решении актуальных проблем науки*. 2020. С. 142–144.
- 14 Сайдалиев Б.Я. Снижение расхода топлива без нарушения технологического стандарта первичной переработки нефти // *Universum: технические науки*. 2020. №. 7-3 (76). С. 22-24.
- 15 Эдер Л.В., Филимонова И.В., Немов В.Ю., Проворный И.А. Добыча, переработка и экспорт нефти и нефтепродуктов в России // *Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование*. 2014. №. 4. С. 83-97.
- 16 Зотов Н.И., Попов С.В., Хабибрахманова О.В. Повышение эффективности работы колонны частичного отбензинивания нефти // *Вестник ВГУИТ*. 2021. Т. 83. № 1. С. 284–289.
- 17 Глаголева О.Ф., Капустин В.М. Повышение эффективности процессов подготовки и переработки нефти (обзор) // *Нефтехимия*. 2020. Т. 60. №. 6. С. 745-754. doi: 10.31857/S002824212006009X
- 18 Морозов В.А., Отрошко Т.П., Морзухина Л.Д., Луговской А.И. и др. Современная установка вакуумной перегонки мазута // *Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт*. 2016. №. 10. С. 51-58.
- 19 Федькин В.С., Попов С.В., Хабибрахманова О.В. Выбор испаряющего агента колонны частичного отбензинивания нефти // *Вестник ВГУИТ*. 2021. Т. 83. № 4. С. 252–260.
- 20 Тугашова Л.Г. Определение показателей качества нефтепродуктов // *Инновационное развитие науки и образования*. 2020. С. 109-119.

References

- 1 Rahman S.A., Anjana R. Unisim Based Simulation and Analysis of Crude Oil Distillation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2021. vol. 1114. no. 1. pp. 012094.
- 2 Patrascioiu C., Jamali M. Crude distillation process simulation using Unisim Design simulator. *International Journal of Chemical and Molecular Engineering*. 2018. vol. 12. no. 7. pp. 340–346.
- 3 Al-Muslim H., Dincer I., Zubair S.M. Exergy analysis of single-and two-stage crude oil distillation units. *J. Energy Resour. Technol.* 2003. vol. 125. no. 3. pp. 199–207.
- 4 Rivero R. Application of the exergy concept in the petroleum refining and petrochemical industry. *Energy conversion and Management*. 2002. vol. 43. no. 9-12. pp. 1199-1220.
- 5 Ledezma-Martinez M., Jobson M., Smith R. Simulation–optimization-based design of crude oil distillation systems with preflash units. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2018. vol. 57. no. 30. pp. 9821–9830.
- 6 Kamisli F., Ahmed A.A. Simulation and Optimization of A Crude Oil Distillation Unit. *Turkish Journal of Science and Technology*. 2019. vol. 14. no. 2. pp. 59–68.
- 7 Yang K. et al. Improving energy saving of crude oil distillation units with optimal operations. *Journal of cleaner production*. 2020. vol. 263. pp. 121340.
- 8 Kim Y.H. An Energy-Efficient Crude Distillation Unit with a Prefractionator. *Chemical Engineering & Technology*. 2017. vol. 40. no. 3. pp. 588-597. doi: 10.1002/ceat.201600387
- 9 Kumar S., Mhetre A. S. Comparative techno-economic evaluation of potential processing schemes for petroleum crude oil distillation. *Results in Engineering*. 2022. vol. 14. pp. 100480. doi: 10.1016/j.rineng.2022.100480
- 10 Jumaah A.F., Amooey A.A., Nabavi S.R. Simulation Multi-Objective Particle Swarm Optimization of a Crude Oil Distillation Unit. *Chemical Engineering & Technology*. 2023. vol. 46. no. 2. pp. 270-278. doi: 10.1002/ceat.202200386
- 11 Churakova S.K., Bogatykh K.F., Nesterov I.D. The influence of the method of heat supply on energy consumption in the process of partial oil topping. Current problems of technical, natural and human sciences: materials of the International Scientific and Technical Conference. Ufa, Publishing house USNTU, 2009. pp. 106. (in Russian).
- 12 Biktimirov F.S. Method of oil distillation. Patent RF, no. 2375408, 2009.
- 13 Kazantsev A.I., Kozhukhova N.Yu. Ways to increase the efficiency of the topping column of the AVT block. *Young scientists in solving current problems of science*. 2020. pp. 142–144. (in Russian).
- 14 Saidaliev B.Ya. Reducing fuel consumption without violating the technological standard of primary oil refining. *Universum: technical sciences*. 2020. no. 7-3 (76). pp. 22-24. (in Russian).
- 15 Eder L.V., Filimonova I.V., Nemov V.Yu., Provorny I.A. Extraction, refining and export of oil and petroleum products in Russia. *Bulletin of Tyumen State University. Ecology and environmental management*. 2014. no. 4. pp. 83-97. (in Russian).
- 16 Zotov N.I., Popov S.V., Khabibrakhmanova O.V. Increasing the efficiency of the partial oil topping column. *Proceedings of VSUET*. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 284–289. (in Russian).
- 17 Glagoleva O.F., Kapustin V.M. Increasing the efficiency of oil preparation and refining processes (review). *Petrochemistry*. 2020. vol. 60. no. 6. pp. 745-754. doi: 10.31857/S002824212006009X (in Russian).
- 18 Morozov V.A., Otroshko T.P., Morzhukhina L.D., Lugovskoy A.I. and others. Modern installation for vacuum distillation of fuel oil. Oil refining and petrochemistry. Scientific and technical achievements and best practices. 2016. no. 10. pp. 51-58. (in Russian).
- 19 Fedkin V.S., Popov S.V., Khabibrakhmanova O.V. Selection of the evaporating agent for the partial oil topping column. *Proceedings of VSUET*. 2021. vol. 83. no. 4. pp. 252–260. (in Russian).
- 20 Tugashova L.G. Determination of quality indicators of petroleum products. *Innovative development of science and education*. 2020. pp. 109-119. (in Russian).

Сведения об авторах

Сергей В. Попов к.т.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, svpopov2018@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-0533-9049>

Нина А. Плешакова к.т.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, napleshakova63@ya.ru

Денис И. Куц магистрант, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, svpopov2018@ya.ru

Вклад авторов

написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Sergey V. Popov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, svpopov2018@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-0533-9049>

Nina A. Pleshakova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, napleshakova63@ya.ru

Denis I. Kuts master student, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, svpopov2018@ya.ru

Contribution

wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 08/01/2024	После редакции 24/01/2024	Принята в печать 10/02/2024
Received 08/01/2024	Accepted in revised 24/01/2024	Accepted 10/02/2024

Совершенствование технологической схемы установки низкотемпературной изомеризации лёгкой бензиновой фракции

Максим С. Потапов¹ svpopov2018@ya.ruСергей В. Попов¹ svpopov2018@ya.ru  0000-0003-0533-9049

¹ Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия

Аннотация. Процессы изомеризации парафиновых углеводородов обеспечивают снижение содержания ароматических и низкооктановых углеводородов в автомобильных бензинах. Октановое число товарного изомеризата во многом зависит от чёткости разделения компонентов реакционной массы изомеризации и степени рециркуляции не превращённых парафиновых углеводородов нормального строения. В реакционной массе технологической установки низкотемпературной изомеризации лёгкой бензиновой фракции ПГИ-ДИГ вместе с целевыми продуктами содержатся низкоразветвлённые и нормальные углеводороды, в частности в промышленном изомеризате присутствует до 12% масс. н-пентана, ухудшающего качество товарного изомеризата из-за его низкого октанового числа (ОЧИ=61,7). Одним из потоков технологической схемы, формирующим поток изомеризата с установки, является дистиллят колонны деизогексанизатора, содержание н-пентана в котором составляет до 14,6% масс. поэтому в промышленных условиях целесообразно его извлечение из дистиллята деизогексанизатора с последующим рециркулированием в сырьевой поток. В работе предлагается изменение технологической схемы установки низкотемпературной изомеризации с целью максимального извлечения сырьевых углеводородов из стабильного изомеризата путём включения в неё системы из двух дополнительных ректификационных колонн Сдоп и ДП. Исследования выполнены с использованием моделирующей программы Honeywell Unisim Design. Выполненными расчётами показаны целесообразные технологические режимы работы и конструкционные параметры колонн: колонна Сдоп содержит 61 трех-поточные клапанные тарелки, давление в колонне Рниз = 245кПа и Рверх = 196кПа, температура Треб = 81,7 °С и Тконд = 47,9 °С; колонна ДП имеет 60 двух-поточных клапанных тарелок, давление Рниз = 400кПа и Рверх = 200кПа, температура Треб = 83,4 °С и Тконд = 45,5 °С. В предложенной технологической схеме обеспечивается практически полное извлечение н-пентана (99,9 %мас.) из стабильного изомеризата с одновременным увеличением его октанового числа на 2 пункта.

Ключевые слова: изомеризация, октановое число, колонна деизогексанизатор, ректификационная колонна, моделирование, Honeywell UniSim Design

Improvement of the technological scheme of the installation of low-temperature isomerization of light gasoline fraction

Maksim S. Potapov¹ svpopov2018@ya.ruSergey V. Popov¹ svpopov2018@ya.ru  0000-0003-0533-9049

¹ Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia

Abstract. The isomerization processes of paraffin hydrocarbons ensure a reduction in the content of aromatic and low-octane hydrocarbons in gasoline. The octane number of a commercial isomerizate largely depends on the clarity of separation of the components of the isomerization reaction mass and the degree of recirculation of non-converted paraffin hydrocarbons of normal structure. The reaction mass of the technological installation for low-temperature isomerization of the light gasoline fraction PGI-DIH, together with the target products, contains low-branched and normal hydrocarbons, in particular, up to 12% by weight of n-pentane is present in the industrial isomerizate, which degrades the quality of the commercial isomerizate due to its low octane number (RON=61.7). One of the flows of the technological scheme forming the isomerizate flow from the installation is the distillate of the deisohexanizer column, the content of n-pentane in which is up to 14.6% by weight therefore, in industrial conditions, it is advisable to extract it from the distillate of the deisohexanizer with subsequent recycling into the raw material stream. The paper proposes a change in the technological scheme of a low-temperature isomerization installation in order to maximize the extraction of raw hydrocarbons from a stable isomerizate by including a system of two additional distillation columns Cadd and DP. The research was carried out using the Honeywell Unisim Design modeling program. The calculations performed show the appropriate technological modes of operation and structural parameters of the columns: the Cadd column contains 61 three-flow valve plates, the pressure in the column Pbot = 245kPa and Ptop = 196kPa, the temperature Treb = 81.7 °C and Tcond = 47.9 °C; the DP column has 60 two-flow valve plates, the pressure Pbot = 400kPa and Ptop = 200kPa, temperature Treb = 83.4 °C and Tcond = 45.5 °C. The proposed technological scheme provides almost complete extraction of n-pentane (99.9% by weight) from a stable isomerizate with a simultaneous increase in its octane number by 2 points.

Keywords: isomerization, octane, deisohexanizer column, rectification column, modeling, Honeywell UniSim Design

Для цитирования

Потапов М.С., Попов С.В. Совершенствование технологической схемы установки низкотемпературной изомеризации лёгкой бензиновой фракции // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 258–264. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-258-264

For citation

Potapov M.S., Popov S.V. Improvement of the technological scheme of the installation of low-temperature isomerization of light gasoline fraction. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 258–264. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-258-264

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

В различных технологических процессах, обеспечивающих снижение содержания ароматических и низкооктановых углеводородов в автомобильных бензинах, значительное место занимают процессы изомеризации парафиновых углеводородов. Изомеризаты – важные компоненты при производстве экологически чистых автомобильных бензинов, повышающие их детонационную стойкость, а также уменьшающие чувствительность между октановыми числами по исследовательскому и моторному методам [1–4].

Октановое число товарного изомеризата во многом зависит от чёткости разделения компонентов реакционной массы изомеризации и степени рециркуляции не превращенных парафиновых углеводородов нормального строения [5–7]. Разделение низко- и высокооктановых компонентов изомеризата затруднено из-за их достаточно близких температур кипения, при этом в промышленных условиях используются как традиционные ректификационные, так и гибридные системы дистилляции / адсорбции.

Дистилляционные технологии характеризуются достаточно высокими капитальными затратами при разделении компонентов смеси из-за малой разницы температур кипения между линейными и разветвлёнными алканами. В работе [8] описывается реконструкция ректификационной колонны деизогексанизатора (ДИГ), в которой для повышения качества изомеризата вывод его компонентов осуществляется четырьмя потоками: сверху колонны – пентаны, боковые погоны – высокооктановые и низкооктановые изогексаны (направляются на рециркуляцию), углеводороды C_{7+} – кубовый остаток колонны.

В патенте [9] предлагается обеспечить предварительное разделение сырья изомеризации на два потока – пентановую и гексановую фракции, которые направляются раздельно в два работающих параллельно реактора, далее происходит объединение реакционных масс и их направление общим потоком в колонну ректификации для разделения компонентов изомеризации и рециклов.

Для изомеров гексана в исследовании [10] показана возможность их селективного разделения с использованием мембранных металло-органических структур путём молекулярного просеивания на $Cu-MO_4-TPA$.

В ряде исследований в качестве альтернативы ректификации изомеризата предлагается использование адсорбционной технологии. В частности, моделирование адсорбции проведено в [11] с целью определения наиболее оптимальной для рассматриваемого процесса комбинации цеолитных адсорбентов (Бета и 5A).

Адсорбционное разделение компонентов изомеризата рассматривается в работе [12], показано эффективное отделение высокооктановых от низкооктановых углеводородов и проводится сравнение адсорбционного и ректификационного разделений.

Цель работы – изменение технологической схемы установки низкотемпературной изомеризации лёгкой бензиновой фракции (на примере типовой установки ПГИ-ДИГ) с целью повышения октанового числа товарного продукта и максимального извлечения из стабильного изомеризата низкоразветвленных и $n-C_5$ углеводородов с их последующей рециркуляцией в сырьевой поток реакторов изомеризации.

Методы

На рисунке 1 показана схема потоков колонны деизогексанизатора (ДИГ) установки низкотемпературной изомеризации лёгкой бензиновой фракции (ПГИ-ДИГ).

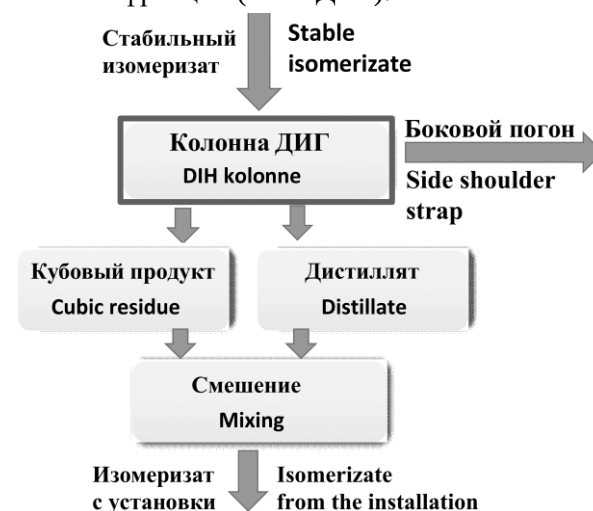


Рисунок 1. Схема потоков колонны деизогексанизатора ДИГ

Figure 1. Flow diagram of the column of the deisohexanizer DIN

В колонне деизогексанизации ДИГ происходит отделение углеводородов 2,2 – диметилбутана и 2,3 – диметилбутана от других изомеров C_6 и более тяжелых компонентов, содержащихся в стабильном изомеризате. Низкооктановые метилпентаны и n -гексан выводятся из колонны ДИГ боковым погоном и в качестве рециклового потока возвращаются в сырьевую емкость секции изомеризации, где смешиваются со стабильным гидрогенизатом. Балансовое количество верхнего продукта (дистиллята) колонны ДИГ объединяется с нижним продуктом (кубовым остатком) колонны.

Объединенный продукт после охлаждения выводится с установки в качестве товарного продукта (изомеризата).

В составе промышленного стабильного изомеризата содержится до 12 % масс. н-пентана, ухудшающего качество изомеризата из-за его низкого октанового числа (ОЧИ = 61,7) и вместе с тем являющегося сырьём секции изомеризации. Как отмечено выше, одним из потоков, формирующим поток стабильного изомеризата с установки, является дистиллят колонны ДИГ. Его усредненный состав показан в таблице 1. Видно, что возможное содержание н-пентана составляет величину порядка 14,6 % масс. Следовательно, целесообразно его максимальное извлечение из дистиллята колонны ДИГ с последующим рециркулированием малоразветвленных и н-С₅ углеводородов.

Исследования выполнены в моделирующей среде Honeywell UniSim Design. Термодинамические свойства потоков углеводородов рассчитывались по методу Пенга-Робинсона [13–20].

Результаты и обсуждение

Для оценки возможности максимального извлечения н-пентана из верхнего продукта колонны ДИГ рассматривали различные варианты его ректификационного выделения с использованием сложных колонн и каскада колонн в качестве оптимального аппаратного оформления процесса.

Выполненными расчетами установлено, что для достижения практически полного извлечения н-пентана, находящегося в верхнем продукте колонны ДИГ, сначала необходимо извлечь н-пентан и изопентан из легкого изомеризата ДИГ, а затем направить поток в дополнительную колонну депентанизации.

На рисунке 2 представлен вариант технологической схемы с включением в ее состав дополнительных ректификационных колонн Сдоп и колонны депентанизации ДП.

Таблица 1.

Состав дистиллята колонны ДИГ

Table 1.

The composition of the distillate of the DIH column

Наименование компонента Name of the component	Содержание компонента, масс. доля Component content, mass fraction	ОЧИ RON
Изобутан Isobutane	0,019704	101,1
н-Бутан n-Butane	0,005325	93,6
Изопентан Isopentane	0,400478	92,3
н-Пентан n-Pentane	0,145970	61,7
Циклопентан Cyclopentane	0,028576	101
2-метилпентан 2-methylpentane	0,039240	73,4
3-метилпентан 3-methylpentane	0,002335	74,5
2,2 – диметилбутан 2,2 – dimethylbutane	0,319221	91,8
2,3 – диметилбутан 2,3 – dimethylbutane	0,039151	103,5
Всего Total	1,000000	-

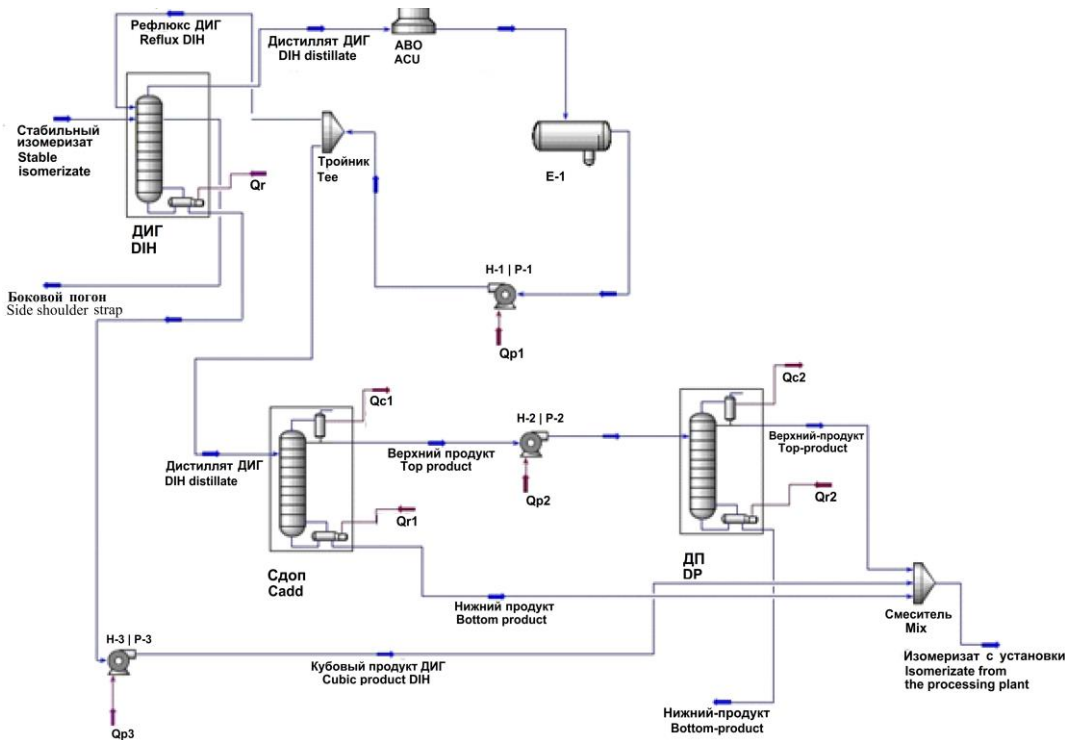


Рисунок 2. Фрагмент измененной технологической схемы с включением дополнительных ректификационных колонн Сдоп и ДП

Figure 2. A fragment of the modified technological scheme with the inclusion of additional rectification columns Cadd and DP

Колонна **Сдоп** расположена после деизогексанизатора, а в качестве её питания поступает балансовое количество верхнего продукта ДИГ. В колонне **Сдоп** происходит отделение бутанов, изопентана и н-пентана от других изомеров (2,2 – диметилбутан; 2,3 – диметилбутан), которые выводятся кубовым остатком на смешение со стабильным изомеризатом установки. В колонну **ДП** в качестве питания поступает поток бутанов и пентанов с верха **Сдоп**.

При моделировании использовались следующие конструкционные и режимные параметры колонны **Сдоп**: число тарелок $N_T = 61$; тарелка питания $N_{пит} = 25$; эффективность контактного устройства 0,8; температура в конденсаторе $T_{конд} = 47,8^\circ\text{C}$, температура в ребойлере $T_{реб} = 81,7^\circ\text{C}$, давление $P_{верх} = 196,1$ кПа, $P_{низ} = 245,2$ кПа. Расход легкого изомеризата – 31250 кг/ч.

Значения рассчитанных технологических параметров и компонентный состав потоков колонны **Сдоп** приведены в таблице 2. График изменения температурного профиля по высоте колонны показан на рисунке 3. Конструкционные параметры колонны **Сдоп** сведены в таблицу 3.

При моделировании работы колонны **ДП** использовались следующие конструкционные параметры: число тарелок $N_T = 60$; тарелка питания $N_{пит} = 24$; эффективность контактного устройства 0,8.

Значения рассчитанных технологических параметров и компонентный состав потоков колонны **ДП** приведены в таблице 4. График изменения температурного профиля по высоте колонны показаны на рисунке 4. Конструкционные параметры сведены в таблице 5.

Таблица 2.
Значения технологических параметров (а) и компонентный состав (б) потоков колонны **Сдоп**

Table 2.
Values of technological parameters (a) and component composition (b) of Cadd column flows

Название потока Stream Name	Дистиллят ДИГ DIH distillate	Нижний продукт Bottom product	Верхний продукт Top product
Доля паровой фазы Vapour / Phase Fraction	0,0000	0,0000	0,0000
Температура, °C Temperature, °C	65,00	81,69	47,88
Давление, кПа Pressure, kPa	392,3	245,2	196,1
Молярный поток, кмоль/ч Molar Flow, kmole/h	404,0	173,4	230,6
Массовый поток, кг/ч Mass Flow, kg/h	3,125 e + 004	1,475 e + 004	1,650 e + 004
Объёмный расход, м³/ч Std Ideal Lig Vol Flow, m³/h	48,88	22,40	26,49
Молярная энтальпия, кДж/кгмоль Molar Enthalpy, kJ/kgmole	-1,819 e + 005	-1,948 e + 005	-1,731 e + 005
Молярная энтропия, кДж/кгмоль°C Molar Entropy, kJ/kgmole°C	61,51	37,97	66,77
Тепловой поток, кДж/ч Heat Flow, kJ/h	-7,349 e + 007	-3,377 e + 007	-3,991 e + 007

(a)

Название углеводорода The Name of the hydrocarbon	Дистиллят ДИГ масс. доля DIH distillate mass fractions	Нижний продукт масс. доля Bottom product mass fraction	Верхний продукт масс. доля Top product mass fraction
Изобутан i-Butane	0,019704	0,000000	0,034522
н-Бутан n-Butane	0,005325	0,000000	0,009330
Изопентан Isopentane	0,400478	0,000000	0,701658
н-Пентан n-Pentane	0,145970	0,001800	0,254393
Циклопентан Cyclopentane	0,028576	0,066492	0,000062
2-метилпентан 2-methylpentane	0,039240	0,091418	0,000000
3-метилпентан 3-methylpentane	0,002335	0,005439	0,000000
2,2 – диметилбутан 2,2 – dimethylbutane	0,319221	0,743641	0,000035
2,3 – диметилбутан 2,3 – dimethylbutane	0,039151	0,091209	0,000000
Итого Total	1,000000	1,000000	1,000000

(b)

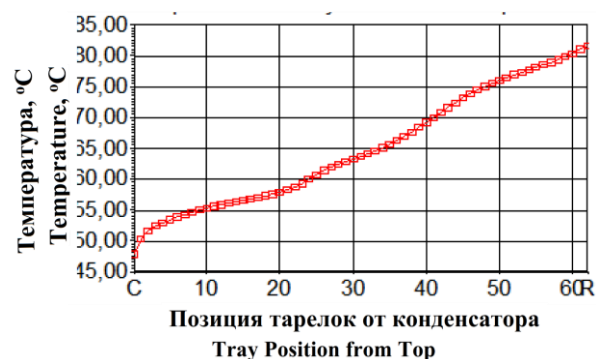


Рисунок 3. График изменения температуры по высоте колонны **Сдоп** (распечатка в моделирующей программе)

Figure 3. Graph of temperature changes in the height of the Cadd column (printout in the modeling program)

Таблица 3.
Параметры колонны **Сдоп**

Table 3.
Parameters of the Cadd column

Тип тарелки Internals	Клапанные Valve
Диаметр, м Diameter, m	3,353
Max затопление, % Max Flooding, %	82,80
X-поверхность, м² X-Area, m²	8,829
Высота, м Height, m	37,19
ДельтаР, кПа DeltaP, kPa	49,66
Поточность Number of Flow Paths	3
Длина потока, мм Flow Length, mm	939,8
Ширина потока, мм Flow Width, mm	2818
Max DP/тарелка, кПа Max DP/Tray, kPa	0,843
Расстояние между тарелками, мм Tray Spacing, mm	609,6
Общая длина слива, мм Total Weir Length, mm	7923
Высота слива, мм Weir Height, mm	50,80
Активная поверхность, м² Active Area, m²	7,944
Свободное сечение, м² Hole Area, m²	1,216

Таблица 4.

Значения технологических параметров (а) и компонентный состав (б) потоков колонны ДП

Table 4.

Values of technological parameters (a) and component composition (b) of DP column flows

Название потока Stream Name	Дистиллят Сдоп Cadd distillate	Нижний-продукт Bottom product	Верхний-продукт Top product
Доля паровой фазы Vapour / Phase Fraction	0,0000	0,0000	0,0000
Температура, °C Temperature, °C	48,09	83,38	45,45
Давление, кПа Pressure, kPa	496,1	400,0	200,0
Молярный поток, кмоль/ч Molar Flow, kmole/h	230,6	58,55	172,0
Массовый поток, кг/ч Mass Flow, kg/h	1,650 e + 004	4225	1,227 e + 004
Объёмный расход, м³/ч Std Ideal Lig Vol Flow, m³/h	26,49	6,709	19,78
Молярная энтальпия, кДж/кгмоль Molar Enthalpy, kJ/kgmole	-1,730 e + 005	-1,629 e + 005	-1,747 e + 005
Молярная энтропия, кДж/кгмоль°C Molar Entropy, kJ/kgmole°C	66,81	106,6	52,71
Тепловой поток, кДж/ч Heat Flow, kJ/h	-3,989 e + 007	-9,536 e + 006	-3,005 e + 007

(a)

Название углеводорода The Name of the hydrocarbon	Дистиллят Сдоп масс. доля Cadd distillate mass fractions	Нижний-продукт масс. доля Bottom-product mass fraction	Верхний-продукт масс. доля Top-product mass fraction
Изобутан i-Butane	0,034522	0,000000	0,046272
н-Бутан n-Butane	0,009330	0,000000	0,012506
Изопентан Isopentane	0,701658	0,013522	0,935866
н-Пентан n-Pentane	0,254393	0,986098	0,005356
Циклопентан Cyclopentane	0,000062	0,000243	0,000000
2-метилпентан 2-methylpentane	0,000000	0,000000	0,000000
3-метилпентан 3-methylpentane	0,000000	0,000000	0,000000
2,2 – диметилбутан 2,2 – dimethylbutane	0,000035	0,000137	0,000000
2,3 – диметилбутан 2,3 – dimethylbutane	0,000000	0,000000	0,000000
Итого Total	1,000000	1,000000	1,000000

(b)

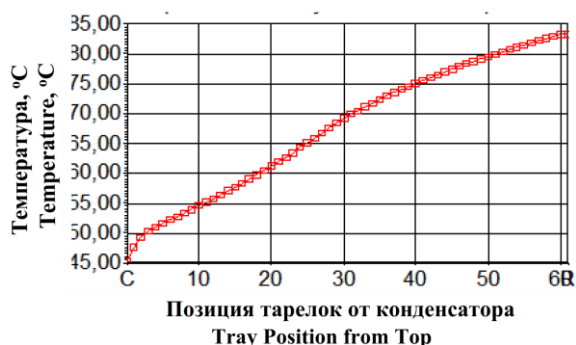


Рисунок 4. График изменения температуры по высоте колонны ДП (распечатка в моделирующей программе)
Figure 4. Graph of temperature changes in the height of the DP column (printout in the modeling program)

Таблица 5.

Параметры колонны ДП

Table 5.

Parameters of the DP column

Тип тарелки Internals	Клапанные Valve
Диаметр, м Diameter, m	3,200
Мак затопление, % Max Flooding, %	81,01
Х-поверхность, м² X-Area, m²	8,044
Высота, м Height, m	36,58
ДельтаР, кПа DeltaP, kPa	41,18
Поточность Number of Flow Paths	2
Длина потока, мм Flow Length, mm	1207
Ширина потока, мм Flow Width, mm	2746
Мак ДР/тарелка, кПа Max DP/Tray, kPa	0,823
Расстояние между тарелками, мм Tray Spacing, mm	609,6
Общая длина слива, мм Total Weir Length, mm	5007
Высота слива, мм Weir Height, mm	50,80
Активная поверхность, м² Active Area, m²	6,627
Свободное сечение, м² Hole Area, m²	1,014

Из таблицы 4б видно, что при предлагаемых параметрах работы колонн Сдоп и ДП содержание н-пентана в дистилляте колонны ДП составит величину не более 0,54 % масс. (в дистилляте

ДИГ «типовой» технологической схемы ПГИ-ДИГ, входящим в товарный изомеризат, было 14,6 % масс.), а в кубовом продукте содержание изопентана – не более 1,35 % масс.

Таким образом, появляется возможность практически весь н-пентан из стабильного изомеризата кубовым продуктом колонны ДП направить на блок подготовки сырья, а далее объединённым сырьём в реакторный блок секции изомеризации.

Следует также отметить, что заметным положительным эффектом включения в существующую технологическую схему двух дополнительных колонн Сдоп и ДП является увеличение октанового числа изомеризата на 2 пункта до значения 90 пунктов по исследовательскому методу.

Заключение

Анализ работы промышленной установки низкотемпературной изомеризации показал, что присутствует потенциальная возможность извлечения и рециркулирования низкоразветвленных углеводородов из стабильного изомеризата в сырьевую емкость перед реакторами изомеризации. Выполненными расчётами показано, что достигается степень извлечения н-пентана 99,9 %масс. Расчётный эффект от предложенного технологического решения в виде увеличения ОЧИ изомеризата составил 2,0 пункта. Такое увеличение октанового числа товарного продукта установки позволит предприятию получить заметную экономическую выгоду.

Представленное технологическое решение позволяет вести процесс эффективнее с точки зрения максимального использования потенциала проведения реакции изомеризации и разделения её продуктов.

Литература

- 1 Aguilera R.C., Yu W., Rodríguez J.T., Mosqueda M.E.A. et al. Comparative analysis on nonlinear models for gasoline blending using neural networks // *Fractals*. 2017. V. 25. №. 06. P. 1750064.
- 2 Veza I., Afzal, A., Mujtaba, M.A., Hoang, A.T. et al. Review of artificial neural networks for gasoline, diesel and homogeneous charge compression ignition engine // *Alexandria Engineering Journal*. 2022. V. 61. №. 11. P. 8363-8391.
- 3 Шакун А.Н., Фёдорова М.Л. Эффективность различных типов катализаторов и техно-логий изомеризации легких бензиновых фракций // *Катализ в промышленности*. 2014. №. 5. С. 29-37.
- 4 Awan Z.H., Kazmi B., Hashmi S., Raza F. et al. Process system engineering (PSE) analysis on process and optimization of the isomerization process // *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*. 2021. V. 40. №. 1. P. 289–302.
- 5 Osman W.S., Fadel A.E., Salem S.M., Shoaib A.M. et al. Optimum Design of Naphtha Recycle Isomerization Unit with Modification by Adding De-Isopentanizer // *Processes*. 2023. V. 11. №. 12. P. 3406. doi: 10.3390/pr11123406
- 6 Anugraha R.P., Renanto R., Maulana R.A., Kusumo R.D. et al. Techno-economical study on the production of high octane gasoline in light naphtha plant // *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. 2024. V. 59. №. 1. P. 81–86.
- 7 Shehata W.M., Mohamed M.F., Gad F.K. Monitoring and modelling of variables affecting isomerate octane number produced from an industrial isomerization process // *Egyptian journal of petroleum*. 2018. V. 27. №. 4. P. 945–953.
- 8 Лебедев Ю.Н., Ратовский Ю.Ю. Реконструкция установок изомеризации // *Химия и технология топлив и масел*. 2010. №. 4. С. 29–30.
- 9 Пат. № 2680377, RU, C07C 5/22, 9/12, 9/16. Способ разделения бензиновых фракций в процессе изомеризации / Мнушкин И.А. № 2018132218; Заявл. 10.09.2018; Опубл. 20.02.2019, Бюл. № 5.
- 10 Chen R., Zheng F., Li J., Liu Y. et al. Aperture Fine-Tuning in Cage-Like Metal–Organic Frameworks via Molecular Valve Strategy for Efficient Hexane Isomer Separation // *Small Structures*. 2024. V. 5. №. 1. P. 2300302. doi: 10.1002/ssr. 202300302
- 11 Anugraha R.P., Maulana R.A., Kusumo R.D. et al. Cost And Product Optimization of Upgrading Light Naphtha Using Pressure Swing Adsorption Method by Aspen Adsorption Simulation // *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*. 2022. V. 100. №. 2. P. 198–210.
- 12 Muhammed T., Tokay B., Conradie A. Raising the Research Octane Number using an optimized Simulated Moving Bed technology towards greater sustainability and economic return // *Fuel*. 2023. V. 337. P. 126864. doi: 10.1016/j.fuel.2022.126864
- 13 Казанцев Е.О. Аналитический обзор катализаторов изомеризации легкой бензиновой фракции // *Вестник магистратуры*. 2019. №. 1-2 (88). С. 17-22.
- 14 Икрянников Е.А., Анищенко О.В. Повышение производительности блока гидроочистки сырья на установках изомеризации бензиновых фракций // *Вестник магистратуры*. 2020. №. 5-3 (104). С. 143-147.
- 15 Ким Т.В., Леденев С.М. Вариант совершенствования процесса изомеризации легкой бензиновой фракции // *Научно-технический прогресс: актуальные и перспективные направления будущего*. 2017. С. 53-53.
- 16 Лихачева Н.А., Митрофанова В.В., Шарипова Г.В., Аминова Э.К. Основные направления развития процесса изомеризации // *Электронный научный журнал Нефтегазовое дело*. 2021. №. 1. С. 60-79.
- 17 Saginayev A., Dosmurzina E., Apendina A., Dossanova B. et al. Development of individual approaches to the use of the gasoline fraction as a raw material for the process of hydrocatalytic isomerization // *Materials Science for Energy Technologies*. 2023. V. 6. P. 158-165.
- 18 Demikhova N.R., Rubtsova M.I., Vinokurov V.A., Glotov A.P. Isomerization of xylenes (a review) // *Petroleum Chemistry*. 2021. V. 61. №. 11. P. 1158-1177.
- 19 Wang Z., Herbinet O., Cheng Z., Husson B. et al. Experimental investigation of the low temperature oxidation of the five isomers of hexane // *The Journal of Physical Chemistry A*. 2014. V. 118. №. 30. P. 5573-5594.
- 20 Wang H., Ricardez-Sandoval L.A. Dynamic optimization of a pilot-scale entrained-flow gasifier using artificial recurrent neural networks // *Fuel*. 2020. V. 272. P. 117731.

References

- 1 Aguilera R.C., Yu W., Rodríguez J.T., Mosqueda M.E.A. et al. Comparative analysis on nonlinear models for gasoline blending using neural networks. *Fractals*. 2017. vol. 25. no. 06. pp. 1750064.
- 2 Veza I., Afzal, A., Mujtaba, M.A., Hoang, A.T. et al. Review of artificial neural networks for gasoline, diesel and homogeneous charge compression ignition engine. *Alexandria Engineering Journal*. 2022. vol. 61. no. 11. pp. 8363-8391.
- 3 Shakun A.N., Fedorova M.L. Efficiency of various types of catalysts and technologies for isomerization of light gasoline fractions. *Catalysis in industry*. 2014. no. 5. pp. 29-37. (in Russian).
- 4 Awan Z.H., Kazmi B., Hashmi S., Raza F. et al. Process system engineering (PSE) analysis on process and optimization of the isomerization process. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*. 2021. vol. 40. no. 1. pp. 289–302.
- 5 Osman W.S., Fadel A.E., Salem S.M., Shoaib A.M. et al. Optimum Design of Naphtha Recycle Isomerization Unit with Modification by Adding De-Isopentanizer. *Processes*. 2023. vol. 11. no. 12. pp. 3406. doi: 10.3390/pr11123406
- 6 Anugraha R.P., Renanto R., Maulana R.A., Kusumo R.D. et al. Techno-economical study on the production of high octane gasoline in light naphtha plant. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. 2024. vol. 59. no. 1. pp. 81–86.
- 7 Shehata W.M., Mohamed M.F., Gad F.K. Monitoring and modelling of variables affecting isomerate octane number produced from an industrial isomerization process. *Egyptian journal of petroleum*. 2018. vol. 27. no. 4. pp. 945–953.
- 8 Lebedev Yu.N., Ratovsky Yu.Yu. Reconstruction of isomerization units. *Chemistry and technology of fuels and oils*. 2010. no. 4. pp. 29–30. (in Russian).
- 9 Mnushkin I.A. Method for separating gasoline fractions in the process of isomerization. Patent RF, no. 2680377, 2019.
- 10 Chen R., Zheng F., Li J., Liu Y. et al. Aperture Fine-Tuning in Cage-Like Metal–Organic Frameworks via Molecular Valve Strategy for Efficient Hexane Isomer Separation. *Small Structures*. 2024. vol. 5. no. 1. pp. 2300302. doi: 10.1002/ssr. 202300302

11 Anugraha R.P., Maulana R.A., Kusumo R.D. et al. Cost And Product Optimization of Upgrading Light Naphtha Using Pressure Swing Adsorption Method by Aspen Adsorption Simulation. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*. 2022. vol. 100. no. 2. pp. 198–210.

12 Muhammed T., Tokay B., Conradie A. Raising the Research Octane Number using an optimized Simulated Moving Bed technology towards greater sustainability and economic return. *Fuel*. 2023. vol. 337. pp. 126864. doi: 10.1016/j.fuel.2022.126864

13 Kazantsev E.O. Analytical review of light gasoline fraction isomerization catalysts. *Magistracy Bulletin*. 2019. no. 1-2 (88). pp. 17-22. (in Russian).

14 Ikryannikov E.A., Anishchenko O.V. Increasing the productivity of the hydrotreating unit of raw materials at isomerization units for gasoline fractions. *Bulletin of the Master's degree*. 2020. no. 5-3 (104). pp. 143-147. (in Russian).

15 Kim T.V., Ledenev S.M. Option for improving the process of isomerization of light gasoline fraction. *Scientific and technical progress: current and promising directions for the future*. 2017. pp. 53-53. (in Russian).

16 Likhacheva N.A., Mitrofanova V.V., Sharipova G.V., Aminova E.K. Main directions of development of the isomerization process. *Electronic scientific journal Oil and Gas Business*. 2021. no. 1. pp. 60-79. (in Russian).

17 Saginayev A., Dosmurzina E., Apendina A., Dossanova B. et al. Development of individual approaches to the use of the gasoline fraction as a raw material for the process of hydrocatalytic isomerization. *Materials Science for Energy Technologies*. 2023. vol. 6. pp. 158-165.

18 Demikhova N.R., Rubtsova M.I., Vinokurov V.A., Glotov A.P. Isomerization of xylenes (a review). *Petroleum Chemistry*. 2021. vol. 61. no. 11. pp. 1158-1177.

19 Wang Z., Herbinet O., Cheng Z., Husson B. et al. Experimental investigation of the low temperature oxidation of the five isomers of hexane. *The Journal of Physical Chemistry A*. 2014. vol. 118. no. 30. pp. 5573-5594.

20 Wang H., Ricardez-Sandoval L.A. Dynamic optimization of a pilot-scale entrained-flow gasifier using artificial recurrent neural networks. *Fuel*. 2020. vol. 272. pp. 117731.

Сведения об авторах

Максим С. Потапов магистрант, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, svpopov2018@ya.ru

Сергей В. Попов к.т.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, svpopov2018@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0533-9049>

Information about authors

Maksim S. Potapov master student, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, svpopov2018@ya.ru

Sergey V. Popov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, svpopov2018@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0533-9049>

Вклад авторов

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

Contribution

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 29/12/2023	После редакции 20/01/2024	Принята в печать 14/02/2024
Received 29/12/2023	Accepted in revised 20/01/2024	Accepted 14/02/2024

Физико-механические показатели вулканизатов на основе жидкофазно-наполненного озонированным техническим углеродом каучука СКС-30 АРК

Иван С. Киселев¹ kiselev_is87@bk.ru  0009-0001-6318-7648

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

Аннотация. В настоящее время в производстве эластомеров востребован высокоокисленный технический углерод, поскольку серийный выпускаемый печной технический углерод содержит небольшое количество кислородсодержащих групп. Высокоактивный наполнитель может быть получен модификацией печного технического углерода с использованием сильных окислителей, таких как азотная кислота, озона, перекись водорода и др. Использование эластомерной композиции, полученной жидкофазным совмещением водной дисперсией озонизированного технического углерода П324 с бутадиен-стирольным каучуком СКС-30АРК на стадии выделения из латекса с использованием ультразвукового воздействия, сокращает продолжительность смешения на стадии изготовления резиновых смесей более, чем 51%. Показано, что вулканизаты на основе эластомерной композиции, полученной жидкофазным совмещением водной дисперсией озонизированного технического углерода П324 с каучуком СКС-30АРК на стадии латекса имеют более высокие прочностные показатели в сравнении с вулканизатами, полученными традиционным «сухим» смешением каучука с печным техническим углеродом П324. Выявлено, что эмульгирующие компоненты латекса, адсорбированные нанодисперсным техническим углеродом, способствуют стабилизации и диспергированию ингредиентов резиновых смесей. Установлено, что исключение из состава резиновых смесей стеарина не только снижает время изготовления резиновых смесей, но и способствует получению вулканизатов с более высокими прочностными показателями, что, по-видимому, указывает на избыточное содержание эмульгирующих агентов в эластомерной композиции. Достижение повышенных физико-механических показателей вулканизатов на основе эластомерной композиции, полученных жидкофазным совмещением водной дисперсией озонизированного технического углерода П324 с каучуком СКС 30АРК на стадии латекса с использованием ультразвукового воздействия, требует корректировки состава и режимов вулканизации.

Ключевые слова: бутадиен-стирольный каучук, технический углерод, резиновые смеси, эластомерная композиция, ультразвуковое воздействие.

Physico-mechanical properties of vulcanizates based on liquid-phase-filled with ozonated technical carbon rubber SKS-30 ARK

Ivan S. Kiselev¹ kiselev_is87@bk.ru  0009-0001-6318-7648

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Currently, highly oxidized carbon black is in demand in the production of elastomers, since commercially produced furnace carbon black contains a small amount of oxygen-containing groups. A highly active filler can be obtained by modifying furnace carbon black using strong oxidizing agents such as nitric acid, ozone, hydrogen peroxide, etc. Using an elastomeric composition obtained by liquid-phase combining an aqueous dispersion of ozonolized carbon black P324 with styrene-butadiene rubber SKS-30ARK at the isolation stage made of latex using ultrasonic influence, reduces the mixing time at the stage of manufacturing rubber compounds by more than 51%. It has been shown that vulcanizates based on an elastomeric composition obtained by liquid-phase combining an aqueous dispersion of ozonolized carbon black P324 with SKS-30ARK rubber at the latex stage have higher strength properties in comparison with vulcanizates obtained by traditional “dry” mixing of rubber with furnace carbon black P324. It was revealed that emulsifying latex components adsorbed by nanodispersed carbon black contribute to the stabilization and dispersion of rubber compound ingredients. It has been established that the exclusion of stearin from the composition of rubber compounds not only reduces the production time of rubber compounds, but also contributes to the production of vulcanizates with higher strength properties, which apparently indicates an excessive content of emulsifying agents in the elastomeric composition. Achieving increased physical and mechanical properties of vulcanizates based on an elastomeric composition, obtained by liquid-phase combining an aqueous dispersion of ozonized carbon black P324 with SKS 30ARK rubber at the latex stage using ultrasonic influence, requires adjustment of the composition and vulcanization modes.

Keywords: styrene-butadiene rubber, carbon black, rubber compounds, elastomeric composition, ultrasonic exposure.

Введение

Теоретические основы достижения высоких физико-механических показателей эластомеров

Для цитирования

Киселев И.С. Физико-механические показатели вулканизатов на основе жидкофазно-наполненного озонированным техническим углеродом каучука СКС-30 АРК // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 265–271. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-265-271

базируется на поверхностных явлениях, главным образом, происходящих на разделе фаз между каучуком и структурными элементами

For citation

Kiselev I.S. Physico-mechanical properties of vulcanizates based on liquid-phase-filled with ozonated technical carbon rubber SKS-30 ARK. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 265–271. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-265-271

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

технического углерода (ТУ). Эффект повышения физико-механических показателей вулканизатов лимитируется структурно-химическими характеристиками ТУ [1]:

- высокой удельной внешней поверхности;
- повышенной структурностью – морфологией дисперсных частиц;
- энергетической активностью и неоднородностью поверхности.

Высокое содержание на поверхности ТУ функциональных групп, в частности, кислородосодержащих групп (карбоксильных, гидроксильных, карбонильных, гидроперекисных, хиноновых, лактоновых и т. п.), способствует энергетической активности, что косвенного характеризуется показателем рН водной дисперсии.

В настоящее время в производстве эластомеров востребован высокоокисленный ТУ, поскольку серийный выпускаемый печной ТУ содержит небольшое количество кислородсодержащих групп. Высокоактивный наполнитель может быть получен модификацией печного ТУ с использованием сильных окислителей, таких как азотная кислота, озона, перекись водорода и др. [2].

Установлено [3], что образцы печной сажи марок № 234 и № 330 с содержанием кислорода 4–8% и низким значением рН могут быть получены низкотемпературным окислением озono-кислородной смесью, при этом удельная поверхность образцов существенно не изменяется. Значения рН, параметры текстуры, содержание кислорода в окисленной печной саже N234 близки к показателям канальной сажи K354. Таким образом, ТУ N234 может быть рекомендован в качестве заменителя канальной сажи в рецептурах каучуков специального назначения и красящих композиций.

Достижение равномерного распределения высокоактивного наполнителя по эластомерной матрице без использования стабилизирующих агентов обеспечивается жидкофазным наполнением эмульсионного каучука на стадии латекса водной дисперсией ТУ в ультразвуковом поле. Стабилизация водной дисперсии ТУ достигается в результате сорбции ТУ эмульгирующих агентов с защитной поверхности латексных глобул на развитую поверхность ТУ, образующуюся в результате ультразвукового воздействия (УЗВ), что сопровождается нарушением агрегативной устойчивости латексной системы. Наполнение эмульсионного каучука СКС-30-АРК на стадии латекса водной дисперсии ТУ при УЗВ высокой интенсивности исключает использование коагулирующих агентов при его выделении из наполненной латексной системы.

Полученные жидкофазным совмещением эластомерные композиции (ЭК) обеспечивают необходимые физико-механические показатели вулканизатов на их основе [4–6].

Следует отметить, что при получении ЭК, жидкофазно-наполненной нанодисперсным ТУ с использованием УЗВ, отмечается глубокое извлечение эмульгирующих агентов – лейканола и смеси смоляных и жирных кислот, а также их производных из латексной системы. В качестве подтверждения сорбционного извлечения эмульгирующих агентов нанодисперсным ТУ в ультразвуковом поле является коэффициент поверхностного натяжения стоков на уровне 72.1 мН/м, что указывает на высокую степень извлечения мыл смоляных и жирных кислот и их производных из водной фазы латекса [6].

Важным аспектом при разработке составов резиновой смеси на основе эмульсионных каучуков является наличие эмульгатора и коагулирующего агента, которые используются при синтезе и выделении каучука. Известно, что бутадиен-нитрильные каучуки производятся по двум технологиям: непрерывным способом с применением парафинатных эмульгаторов (БНКС) и периодическим способом с применением сульфонатных эмульгаторов (СКН). Сульфонатный эмульгатор практически полностью удаляется из каучука после отмывки, поэтому эти каучуки можно считать условно чистыми. В каучуках БНКС, полученных с использованием парафинатных эмульгаторов, остается до 5% некаучуковых примесей, в основном, стеаратов кальция или магния, в зависимости от применяемого коагулянта [7].

Показано [8], что введение стеарата кальция в резиновую смесь на основе бутадиен-нитрильного каучука увеличивает время подвулканизации и замедляет скорость в главном периоде, что особенно заметно при высоком содержании стеарата кальция – 5 масс. ч. По снижению величины $\Delta S'$ вулканизатов можно судить, что добавление стеарата кальция уменьшает густоту вулканизационной сетки, особенно для каучука БНКС-28АН, в котором соли жирных кислот присутствуют изначально.

Таким образом, использование ЭК, жидкофазно-наполненной озонализированным ТУ в ультразвуковом поле, при получении вулканизатов с повышенными физико-механическими свойствами требует корректировки рецептуры резиновой смеси.

Материалы и методы

В качестве объекта изучения использовали образцы ЭК, полученные с использованием латекса с производства каучука марки СКС-30АРК

(АО «Воронежсинтезкаучук»), при соотношении компонентов, мас. ч. – каучук.: ТУ П324 = 100 : 100.

Контрольный образец. Резиновая смесь изготовлена с использованием каучука СКС-30АРК и ТУ П324 в соответствии со стандартом – Смеси резиновые для испытания. Приготовление, смешение и вулканизация. Оборудование и методы / ИСО 2393–94/.

Опытный образец № 1. Резиновая смесь изготовлена с использованием ЭК, полученной жидкофазным совмещением водной дисперсии ТУ П324 с каучуком СКС-30АРК на стадии латекса при УЗВ.

Опытные образцы № 2 и № 3. Резиновые смеси изготовленные с использованием ЭК, полученными жидкофазным совмещением водной дисперсией озонизированного ТУ П324 с каучуком СКС-30АРК на стадии латекса при УЗВ. Образец № 3 изготовлен без использования стеарина в резиновой смеси.

При изучении пласто-эластических свойств резиновых смесей и физико-механических показателей вулканизатов на основе ЭК использовали стандарт «Определение прочностных свойств при растяжении / ИСО 37–94/».

Обсуждение

Определяющую роль в процессе вулканизации имеет поверхностно-активные вещества, которые влияют на растворимость и диспергирование ингредиентов резиновых смесей. Растворимость многих вулканизирующих веществ в малополярных полимерах крайне низка и составляет десятки и сотые доли процента. Кинетические закономерности процесса вулканизации и топология вулканизационных структур определяется характером распределения низкомолекулярных веществ в объеме полимера [9].

Для жидкофазно-наполненного нанодисперсным ТУ П324 бутадиен-стирольного каучука характерно высокое содержание смоляных и жирных кислот, а также их производных, которые находятся на поверхности раздела фаз и проявляют свойства структурного пластификатора. В источнике [10] показано, что мыла канифоли как стабилизатор сажевых дисперсий имеет преимущества в сравнении с другими поверхностно-активными веществами, например лейканолом, так при коагуляции саженнаполненных систем в кислой среде выделяющиеся абиетиновые кислоты, нерастворимые в воде, которые остаются в полимере и улучшают его свойства.

Эмульгирующие агенты, адсорбированные высокоразвитой поверхностью ТУ, обеспечивают стабилизирующую способность при жидкофазном наполнении и способствуют получению ЭК с равномерным распределением активного наполнителя по объему эластомерной матрицы. Однако избыточное содержание эмульгирующих агентов оказывает существенное влияние на характер взаимодействий на межфазных поверхностях, изменяют коллоидно-химическую природу систем и протекающих в них химических реакций. В этой связи изготовление и обработка резиновых смесей на основе ЭК, содержащих лейканол, смоляные и жирные кислоты, а также их производные, сопровождается протекают одновременно сложных процессов, которые накладываются друг на друга и, в зависимости от природы используемого полимера и ингредиентов резиновых смесей, меняют свою направленность. В этой связи были изготовлены резиновые смеси по рецептам (таблица 1), различающихся способом получения ЭК и содержанием стеарина.

Таблица 1.

Состав резиновых смесей

Table 1.

Composition of rubber compounds

Компонент Component	Содержание массовых частей в образце Mass fraction content in the sample			
	Контроль Control	1	2	3
Каучук СКС -30АРК SKS 30ARC rubber	100,0	-	-	-
ЭК (каучук СКС-30АРК и ТУ П324) ЕС (rubber SKS 30ARC and TU P324)	-	160,0	-	-
ЭК (каучук СКС-30АРК и озонизированный ТУ П324) ЕК (rubber SKS 30ARK and ozonolised TU P324)	-	-	160,0	160,0
Сера Sulphur	2,0	2,0	2,0	2,0
Стеарин Stearin	1,5	1,5	1,5	-
Цинковые белила Zinc white	5,0	5,0	5,0	5,0
Тиазол 2МБС Thiazole 2MBS	3,0	3,0	3,0	3,0
ТУ П324 TU P324	60,0	-	-	-

Использование ЭК, полученной жидкофазным совмещением водной дисперсией озонизированного ТУ П324 с каучуком СКС-30АРК на стадии латекса потребовала корректировку режимов смешения при изготовлении резиновых смесей. Из таблицы 2 следует, что сокращается стадия вальцевание смеси при использовании ЭК с 5 до 3 минут, т. к. требуется только формование листа. Исключаются стадии: 3, 4, 5 и 6 – порционного введения ТУ с подрезкой смеси. В результате использования ЭК, полученной жидкофазным совмещением водной суспензией ТУ с каучуком на стадии латекса, позволяет сократить продолжительность изготовления резиновых смесей с 27 до 15 минут.

Аналогичные положительные моменты, в частности, сокращение цикла смешения на 10%, улучшение перерабатываемости композиции и повышение стойкости к скорчингу достигаются

благодаря лучшему диспергированию в эластомерной матрице ингредиентов с применением композиционного активатора вулканизации в виде оксида цинка со смесью жирных кислот [11].

Адсорбированные ТУ эмульгирующие компоненты латекса находятся на поверхности раздела фаз и способствуют равномерному распределению ингредиентов резиновой смеси по эластомерной матрице. Однако содержание поверхностно-активных веществ порядка 5% (мас.) в каучуке способствует снижению поверхности контактов межфазного взаимодействия, что будет негативно влиять на образование вулканизационной сетки. Установлено [6], что при жидкофазном наполнении каучука на стадии латекса достигается максимальная степень сорбирования ТУ лейканола, смоляных и жирных кислот, а также их производных, что указывает на возможное избыточное содержание поверхностно-активных веществ в ЭК [12–20].

Таблица 2.

Режимы смешения

Table 2.

Mixing modes

Стадия State	Ингредиент Ingredient	Продолжительность обработки образцов Processing time of the samples			
		Контроль Control	1	2	3
1	Вальцевание каучука или эластомерной композиции Rolling of rubber or elastomeric composition	5	3	3	3
2	Подрезка смеси на $\frac{3}{4}$ валка с каждой стороны через 30 сек Trimming the mixture by $\frac{3}{4}$ of the roll on each side after 30 sec.	+	+	+	+
3	Введение $\frac{1}{2}$ части ТУ Introduction of $\frac{1}{2}$ part of TR	5	-	-	-
4	Подрезка смеси на $\frac{3}{4}$ валка по три раза с каждой стороны Trimming the mixture $\frac{3}{4}$ of a roll three times on each side.	+	-	-	-
5	Введение $\frac{1}{2}$ части ТУ и ТУ порциями Introducing $\frac{1}{2}$ of the TR and TR in portions	5	-	-	-
6	Подрезка смеси по три раза с каждой стороны Trimming the mixture three times on each side	+	-	-	-
7	Введение стеарина Introduction of stearin	2	2	2	-
8	Подрезка смеси по одному разу с каждой стороны Trimming the mixture once on each side	+	+	+	+
9	Введение цинковых белил, Тиазола 2МБС и серы Introduction of zinc whitewash, Thiazol 2MBS and sulphur	5	5	5	5
10	Подрезка смеси на $\frac{3}{4}$ валка по пять раз с каждой стороны Trimming the mixture $\frac{3}{4}$ of the roll five times on each side	2	2	2	2
11	Срезка смеси, сдвиг валков до зазора 0,6–0,8. Пропуск смеси шесть раз Cutting the mixture, shifting the rolls to a gap of 0.6-0.8. Passing the mixture six times	2	2	2	2
12	Листование смеси по толщине $(2,1 \pm 0,3)$ мм Sheeting the mixture to a thickness of (2.1 ± 0.3) mm	1	1	1	1
	Снятие смеси Removing the mixture	27	15	15	13

Исключение стеарина из состава резиновой смеси, полученной с использованием опытного образца 2, позволяет не только сократить время изготовления на 2 минуты, а главное получить вулканизаты с более высокими физико-механическими показателями, что отражено в таблице 3.

Физико-механические показатели опытных образцов вулканизатов при использовании ЭК полученных жидкофазным совмещением водной дисперсией озонизированного ТУ П324 с каучуком СКС-30АРК на стадии латекса в первом приближении находятся на уровне опытных образцов вулканизатов, наполненных канальным ТУ К354.

Таблица 3.

Физико-механические показатели опытных образцов вулканизатов

Table 3.

Physico-mechanical parameters of vulcanizate prototypes

Показатель Index	Значения показаний образцов Sample readings			
	Контроль Control	№ 1	№ 2	№ 3
Условное напряжение при 100% удлинении, МПа Conditional stress at 100% elongation, MPa	2,2	2,4	2,7	2,8
Условное напряжение при 300% удлинении, МПа Conditional stress at 300% elongation, MPa	9,5	11,9	12,6	12,9
Условная прочность при растяжении, МПа Conditional tensile strength, MPa	19,1	20,9	22,3	22,5
Относительное удлинение при разрыве, % Relative elongation at break, %	460	475	475	470

Изготовление и обработка резиновых смесей на основе ЭК, содержащих лейканол, смоляные и жирные кислоты, а также их производные, сопровождается протеканием одновременно сложных процессов. Течение разнонаправленных процессов при получении вулканизатов зависит от содержания функциональных групп в нанодисперсном ТУ, степени диспергирования ингредиентов резиновой смеси и сопутствующих примесей, что требует основательной корректировки состава резиновой смеси при её изготовлении.

Заключение

Изготовление резиновых смесей на основе ЭК, полученных жидкофазным совмещением водной дисперсией нанодисперсного ТУ П324 с каучуком СКС-30АРК на стадии выделения из латекса с использованием УЗВ, сопровождается сокращением продолжительности вальцевания ЭК с 5 до 3 минут и исключением стадии порционного введения ТУ с подрезкой смеси общей продолжительностью 10 минут и исключение стадии стеарина – 2 мин. В итоге суммарное сокращение продолжительности процесса изготовления резиновой смеси составляет 14 минут.

Адсорбированные эмульгирующие компоненты латекса нанодисперсным ТУ в ходе

приготовления ЭК способствуют равномерному распределению ингредиентов по эластомерной матрице при изготовлении резиновой смеси. Использование ЭК с озонизированным ТУ П324 обеспечивает получение вулканизатов с высокими прочностными показателями, которые находятся на уровне показателей для вулканизатов, содержащих канальный ТУ К354.

Следует отметить, что резиновые смеси и вулканизаты на их основе, которые были приготовлены с использованием ЭК, полученной жидкофазным совмещением водной дисперсией озонизированного ТУ П324 с каучуком СКС-30АРК на стадии латекса с использованием УЗВ, содержат избыточное количество поверхностно-активных веществ в виде эмульгирующих агентов. Показано, что исключение из состава резиновой смеси стеарина способствует повышению физико-механических показателей вулканизатов.

Достижение повышенных физико-механических показателей вулканизатов на основе ЭК, полученных жидкофазным совмещением водной дисперсией озонизированного ТУ П324 с каучуком СКС-30АРК на стадии латекса с использованием УЗВ, требует корректировки состава и режимов вулканизации.

Литература

- 1 Гюльмисарян Т.Г., Капустин В.М., Левенберг И.П. Технический углерод: морфология, свойства, производство. М.: Каучук и резина, 2017. 586 с.
- 2 Li N., Ma X., Zha Q., Kim K. et al. Maximizing the number of oxygen-containing functional groups on activated carbon by using ammonium persulfate and improving the temperature-programmed desorption characterization of carbon surface chemistry // Carbon. 2011. V. 49. №. 15. P. 5002-5013.
- 3 Кохановская О.А., Княжева О.А., Бакланова О.Н., Леонтьева Н.Н. и др. Изменение физико-химических и функциональных свойств технического углерода при окислительной обработке озono-кислородной смесью // Материалы конференции АИР. Сер. «Нефтегазовая инженерия, ОГЭ 2021». 2021. С. 020007.
- 4 Пат. № 2640522, RU, C08C1/00 Способ изготовления наполненного высокоактивным техуглеродом каучука / Корчагин В.И., Фалыхов М.И., Киселев И.С., Кузнецова Е.Е., Протасов А.В. № 2016116845; Заявл. 28.04.2016; Оpubл. 09.01.2018, Бюл. № 1.
- 5 Корчагин В.И., Киселев И.С., Челноков П.А., Протасов А.В. и др. Жидкофазное наполнение печным техуглеродом бутадиен-стирольных каучуков в ультразвуковом поле // Каучук и резина. 2022. Т. 81. № 3. С. 134–137.
- 6 Корчагин В.И., Протасов А.В., Киселев И.С. Влияние нанодисперсного технического углерода на агрегативную устойчивость бутадиен-стирольного латекса при жидкофазном наполнении в ультразвуковом поле // Журнал прикладной химии. 2023. Т. 96. №. 2. С. 169–176.

- 7 Папков В.Н., Гусев Ю.К., Ривин Э.М., Блинов Е.В. Бутадиен-нитрильные каучуки. Синтез и свойства. Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГУИТ», 2014. 218 с.
- 8 Боброва И.И., Котова С.В., Наумова Ю.А. Исследование влияния стеарата кальция на свойства резиновых смесей и их вулканизатов на основе бутадиен-нитрильных каучуков // Промышленное производство и использование эластомеров. 2012. № 4. С. 3–7.
- 9 Каблов В.Ф., Аксёнов В.И. Современные тенденции применения каучуков и наполнителей в рецептуре резин // Промышленное производство и использование эластомеров. 2018. № 3. С. 24–34.
- 10 Пуценко С.К.Н. Опыт совместного использования кремнезема и латекса в бетонных технологиях // Дороги и мосты. 2020. № 1. С. 205–223.
- 11 Карманова О.В., Фатнева А.Ю., Тихомиров С.Г., Попова Л.В. Влияние состава композиционного активатора вулканизации на свойства эластомеров // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 4. С. 178–183.
- 12 Дорофеев А.Н., Курлянд С.К., Земский Д.Н. Влияние нового противостарителя на физико-механические свойства резин // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 4. С. 128–129.
- 13 Zaimova D., Bayraktar E., Miskioglu I. Design and manufacturing of new elastomeric composites: Mechanical properties, chemical and physical analysis // Composites Part B: Engineering. 2016. V. 105. P. 203–210.
- 14 Kim I.J., Ahn B., Kim D., Lee H.J. et al. Vulcanizate structures and mechanical properties of rubber compounds with silica and carbon black binary filler systems // Rubber Chemistry and Technology. 2021. V. 94. № 2. P. 339–354.
- 15 Formela K., Wąsowicz D., Formela M., Hejna A. et al. Curing characteristics, mechanical and thermal properties of reclaimed ground tire rubber cured with various vulcanizing systems // Iranian Polymer Journal. 2015. V. 24. P. 289–297.
- 16 Malas A., Das C. K. Effect of graphene oxide on the physical, mechanical and thermo-mechanical properties of neoprene and chlorosulfonated polyethylene vulcanizates // Composites Part B: Engineering. 2015. V. 79. P. 639–648.
- 17 Maciejewska M., Siwek M. The influence of curing systems on the cure characteristics and physical properties of styrene–butadiene elastomer // Materials. 2020. V. 13. № 23. P. 5329. doi: 10.3390/ma13235329
- 18 Shuhaimi N.H.H., Ishak N.S., Othman N., Ismail H. et al. Effect of different types of vulcanization systems on the mechanical properties of natural rubber vulcanizates in the presence of oil palm leaves-based antioxidant // Journal of Elastomers & Plastics. 2014. V. 46. № 8. P. 747–764.
- 19 Mangili I., Lasagni M., Anzano M., Collina E. et al. Mechanical and rheological properties of natural rubber compounds containing devulcanized ground tire rubber from several methods // Polymer Degradation and Stability. 2015. V. 121. P. 369–377.
- 20 Paran S.M.R., Naderi G., Ghoreishy M.H.R. Effect of halloysite nanotube on microstructure, rheological and mechanical properties of dynamically vulcanized PA6/NBR thermoplastic vulcanizates // Soft Materials. 2016. V. 14. № 3. C. 127–139.

References

- 1 Gyulmisaryan T.G., Kapustin V.M., Levenberg I.P. Carbon black: morphology, properties, production. M., Kauchuk i rezina, 2017. 586 p. (in Russian).
- 2 Li N., Ma X., Zha Q., Kim K. et al. Maximizing the number of oxygen-containing functional groups on activated carbon by using ammonium persulfate and improving the temperature-programmed desorption characterization of carbon surface chemistry. Carbon. 2011. vol. 49. no. 15. pp. 5002–5013.
- 3 Kokhanovskaya O.A., Knyazheva O.A., Baklanova O.N., Leontyeva N.N. and others. Changes in the physicochemical and functional properties of carbon black during oxidative treatment with an ozone-oxygen mixture. Proceedings of the AIP conference. Ser. "Oil and Gas Engineering, OGE 2021." 2021. pp. 020007. (in Russian).
- 4 Korchagin V.I., Falyakhov M.I., Kiselev I.S., Kuznetsova E.E., Protasov A.V. Method of manufacturing rubber filled with highly active carbon black. Patent RF, no. 2640522, 2018.
- 5 Korchagin V.I., Kiselev I.S., Chelnokov P.A., Protasov A.V. and others. Liquid-phase filling of styrene-butadiene rubbers with furnace carbon black in an ultrasonic field. Rubber and Rubber. 2022. vol. 81. no. 3. pp. 134–137. (in Russian).
- 6 Korchagin V.I., Protasov A.V., Kiselev I.S. The influence of nanodispersed carbon black on the aggregative stability of styrene-butadiene latex during liquid-phase filling in an ultrasonic field. Journal of Applied Chemistry. 2023. vol. 96. no. 2. pp. 169–176. (in Russian).
- 7 Papkov V.N., Gusev Yu.K., Rivin E.M., Blinov E.V. Nitrile butadiene rubbers. Synthesis and properties. Voronezh, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "VGUIT", 2014. 218 p. (in Russian).
- 8 Bobrova I.I., Kotova S.V., Naumova Yu.A. Study of the influence of calcium stearate on the properties of rubber compounds and their vulcanizates based on nitrile butadiene rubbers. Industrial production and use of elastomers. 2012. no. 4. pp. 3–7. (in Russian).
- 9 Kablov V.F., Aksenov V.I. Modern trends in the use of rubbers and fillers in rubber formulations. Industrial production and use of elastomers. 2018. no. 3. pp. 24–34. (in Russian).
- 10 Putsenko S.K.N. Experience of joint use of silica and latex in concrete technologies. Roads and Bridges. 2020. no. 1. pp. 205–223. (in Russian).
- 11 Karmanova O.V., Fatneva A.Yu., Tikhomirov S.G., Popova L.V. Influence of the composition of a composite vulcanization activator on the properties of elastomers. Proceedings of VSUET. 2019. vol. 81. no. 4. pp. 178–183. (in Russian).
- 12 Dorofeev A.N., Kurllyand S.K., Zemsky D.N. The influence of a new antioxidant on the physical and mechanical properties of rubber. Bulletin of the Kazan Technological University. 2015. vol. 18. no. 4. pp. 128–129. (in Russian).
- 13 Zaimova D., Bayraktar E., Miskioglu I. Design and manufacturing of new elastomeric composites: Mechanical properties, chemical and physical analysis. Composites Part B: Engineering. 2016. vol. 105. pp. 203–210.
- 14 Kim I.J., Ahn B., Kim D., Lee H.J. et al. Vulcanizate structures and mechanical properties of rubber compounds with silica and carbon black binary filler systems. Rubber Chemistry and Technology. 2021. vol. 94. no. 2. pp. 339–354.
- 15 Formela K., Wąsowicz D., Formela M., Hejna A. et al. Curing characteristics, mechanical and thermal properties of reclaimed ground tire rubber cured with various vulcanizing systems. Iranian Polymer Journal. 2015. vol. 24. pp. 289–297.

16 Malas A., Das C. K. Effect of graphene oxide on the physical, mechanical and thermo-mechanical properties of neoprene and chlorosulfonated polyethylene vulcanizates. *Composites Part B: Engineering*. 2015. vol. 79. pp. 639-648.

17 Maciejewska M., Siwek M. The influence of curing systems on the cure characteristics and physical properties of styrene-butadiene elastomer. *Materials*. 2020. vol. 13. no. 23. pp. 5329. doi: 10.3390/ma13235329

18 Shuhaimi N.H.H., Ishak N.S., Othman N., Ismail H. et al. Effect of different types of vulcanization systems on the mechanical properties of natural rubber vulcanizates in the presence of oil palm leaves-based antioxidant. *Journal of Elastomers & Plastics*. 2014. vol. 46. no. 8. pp. 747-764.

19 Mangili I., Lasagni M., Anzano M., Collina E. et al. Mechanical and rheological properties of natural rubber compounds containing devulcanized ground tire rubber from several methods. *Polymer Degradation and Stability*. 2015. vol. 121. pp. 369-377.

20 Paran S.M.R., Naderi G., Ghoreishy M.H.R. Effect of halloysite nanotube on microstructure, rheological and mechanical properties of dynamically vulcanized PA6/NBR thermoplastic vulcanizates. *Soft Materials*. 2016. vol. 14. no. 3. pp. 127-139.

Сведения об авторах

Иван С. Киселев аспирант, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kiselev_is87@bk.ru
 <https://orcid.org/0009-0001-6318-7648>

Information about authors

Ivan S. Kiselev graduate student, industrial ecology and technosphere safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kiselev_is87@bk.ru
 <https://orcid.org/0009-0001-6318-7648>

Вклад авторов

Иван С. Киселев написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Contribution

Ivan S. Kiselev wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Поступила 15/01/2024	После редакции 02/02/2024	Принята в печать 19/02/2024
Received 15/01/2024	Accepted in revised 02/02/2024	Accepted 19/02/2024

Требования к оформлению материалов для журнала «Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий»

Редакция просит авторов в подготовке рукописей руководствоваться изложенными ниже правилами. Рукописи, оформленные без соблюдения данных правил, редакцией рассматриваться не будут.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РУКОПИСЕЙ И ЗАЯВЛЕНИЕ НА РАССМОТРЕНИЕ

Представление рукописи в журнал «ВЕСТНИК ВГУИТ» для печати предполагает, что:

- 1) описанная в ней работа ранее не была опубликована;

- 2) она не рассматривается для публикации в ином издательстве;

- 3) ее публикация была одобрена всеми авторами и так или иначе взаимосвязанными организациями, в которых эта работа проводилась;

- 4) в случае принятия к публикации эта статья не будет опубликована где-либо еще в той же форме, на английском или на любом другом языке, в том числе и в электронном виде.

Представление статьи проводят через официальный сайт издания путем прохождения регистрации (<http://www.vestnik-vsu.ru/vguit/user/register>).

В состав электронной версии статьи должны входить:

1. Рукопись статьи оформленная строго в шаблоне редакции в формате Word 2007–2016. Word 2003 – **НЕ Принимается**
2. табличный материал в виде отдельного файла (**только при условии** когда объем одной таблицы превышает полную страницу журнальной статьи)
3. иллюстрации **в исходном формате данных с возможностью редактирования (программах для черчения/рисования/создания диаграмм и прочее, ТО ЕСТЬ НЕ сохранен в формате с потерей качества)** предпочтение, при этом отдается векторным форматам: **eps, svg, ai, pdf**, растровый формат изображений (с сжатием): форматы **png, jpeg и пр.** не прикреплять. Минимальное разрешение рисунков и графиков **600 dpi**. Это требование необходимо для повышения типографского качества печатной версии издания.

Если авторов несколько, то необходимо указать автора, которому будет адресована корреспонденция, и его контактные данные: адрес, номер телефона/факса, а также адреса электронной почты всех авторов.

ВНИМАНИЕ: Авторы несут полную ответственность за достоверность и оригинальность информации, предоставленной в рукописи. Все рукописи проходят проверку на наличие заимствований в системе «Антиплагиат». Оригинальность рукописи должна быть не менее 80%, в противном случае рукопись будет возвращена без права опубликования. При обнаружении нарушения авторских прав или плагиата будет проведена ретракция опубликованных статей в соответствии с правилами COPE.

ОФОРМЛЕНИЕ СТАТЫ

Статьи в журнале «ВЕСТНИК ВГУИТ» издаются на русском языке с реферат на английском языке. По согласованию с редакцией допускается публикация статьи и на английском языке.

Вся статья (текст, таблицы, примечания, заголовки, иностранные вставки, список литературы, подписи и др.) набирается на компьютере в соответствии со стилями форматирования **шаблона журнала для MS Word 2007-2016**.

Версия статьи выполненная средствами MS Word 2003 **НЕ принимаются**.

Объем статьи, включая список литературы и подписи, не должен превышать: для работ, имеющих общее значение 5–20 страниц текста, для кратких сообщений до 3 стр.

ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ СТАТЬИ

I. ОСНОВНОЙ ТЕКСТ СТАТЬИ

Рукописи оригинальных исследований представляются по общепринятой международной схеме (IMRAD format - Introduction, Methods, Results and Discussion) и в статье должны найти отражение следующие рубрики:

Введение - кратко излагается современное состояние вопроса и обосновывается актуальность исследования. Дается критическая оценка литературы, имеющей отношение к рассматриваемой проблеме. Данная оценка разграничивает нерешенные вопросы. Ставятся четко сформулированные цели и задачи, поясняющие дальнейшее исследование в конкретной области;

Материалы и методы - дается достаточно подробное описание работы, для ее возможного воспроизведения. Методы, опубликованные ранее, должны сопровождаться ссылками: автором описываются только относящиеся к теме изменения.

Результаты - описываются в логической последовательности в виде отдельных фрагментов, разделенных подзаголовками, без элементов обсуждения, без повторения методических подробностей, без дублирования цифровых данных, приведенных в таблицах и рисунках.

Обсуждение - в разделе проводится детальный анализ полученных данных в сопоставлении с данными литературы, что служит обоснованием выводов и заключений авторов.

Заключение - подводятся основные итоги работы, приводятся рекомендации и указание на дальнейшие возможные направления исследований.

Для обзорных статей должны быть указаны *Введение* и в соответствии со стандартом PRISMA указать стратегию поиска литературы (<http://www.prisma-statement.org>).

Таблицы объема больше одной страницы указывать как Приложение в виде отдельного файла, так как они не будут опубликованы в печатной версии, а будут прикладываться в виде отдельного файла к электронной версии.

Названия и содержание рисунков (все подписи внутри) и таблиц (столбцов и строк) должны быть приведены как на русском, так и на английском языках.

Графический материал представляется в исходном формате данных с возможностью редактирования (программах для черчения/рисования/создания диаграмм и прочее, ТО ЕСТЬ НЕ сохранен в формате с потерей качества) предпочтение, при этом отдается векторным форматам: eps, svg, ai, pdf, исключение фотографии в растровом формате (с сжатием): png, jpeg и пр. Минимальное разрешение рисунков и графиков 600 dpi.

Файлы Excel -- внедрены в текст статьи, с возможностью редактирования.

II. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

Список литературы оформляется согласно Приложению 1, 2.

Цитируемая литература должна содержать не менее 10 источников, и не менее 5 ссылок на иностранные источники. В списке литературы должны быть опубликованы работы за последние пять лет, в том числе в журналах, индексируемых в базах данных *ScienceDirect*, *Web of Science*, *Scopus*, *Science Index*. Лишь в случае необходимости допустимы ссылки на более ранние труды. Справочная литература не старше 10 лет.

В список литературы **НЕ включаются** учебные пособия, нормативные и архивные материалы, статистические сборники, газетные заметки без указания автора, монографии, авторефераты и диссертации. В цитируемой литературе желательно указывать источники с DOI.

Вместо ссылок на материалы диссертаций и авторефератов диссертаций, рекомендуется ссылаться на оригинальные статьи по теме диссертационной работы, так как сами диссертации рассматриваются как рукописи и не являются печатными источниками.

Самоцитирование **НЕ более 2-х** ссылок.

Приветствуется подача статей онлайн! Адрес: <http://vestnik.vsu.ru/>

III. ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА

Статьи, принимаемые к публикации в журнале «ВЕСТНИК ВГУИТ», должны излагать наиболее существенные, законченные и еще ранее неопубликованные результаты научных исследований.

О публикационной этике и этических нормах для публикации в журнале «ВЕСТНИК ВГУИТ» см.: <http://www.vestnik-vsuet.ru/vguit/about/editorialPolicies#custom-2>

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.

К статье должны прилагаться сопроводительные документы:

- сопроводительное письмо;
- экспертное заключение;
- 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.

IV. КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Информацию о стоимости публикации можно узнать в редакции журнала. Также редакция оказывает платные услуги профессионального перевода реферата и ключевых слов на английский язык.

По всем интересующим Вас вопросам обращаться в редакцию журнала по контактам:

Дерканосова Анна Александровна - кандидат технических наук, доцент кафедры Сервиса и ресторанного бизнеса, начальник Центра коллективного пользования «Контроль и управления энергоэффективными проектами»

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Телефон: 8 920 432 16 57

E-mail: post@vestnik-vsuet.ru, aa-derk@yandex.ru

Адрес 394000, г. Воронеж, пр. Революции, 19, ауд. 11.

Соответствие рубрик/разделов журнала Вестник ВГУИТ

Номенклатуре научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени.

1.1 Процессы и аппараты пищевых производств

1.2 Пищевая биотехнология

- **05.18.01** Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства
- **05.18.04** Технология мясных молочных и рыбных продуктов и холодильных производств
- **05.18.05** Технология сахара и сахаристых продуктов чая табака и субтропических культур
- **05.18.06** Технология жиров эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов
- **05.18.07** Биотехнология пищевых продуктов и биологически активных веществ
- **05.18.12** Процессы и аппараты пищевых производств
- **05.18.15** Товароведение пищевых продуктов и технология общественного питания

2. Химическая технология

- **05.17.01** Технология неорганических веществ
- **05.17.04** Технология органических веществ
- **05.17.06** Технология и переработка полимеров и композитов
- **05.17.07** Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ
- **05.17.08** Процессы и аппараты химических технологий

3. Экономика и управление

- **08.00.05** Экономика и управление народным хозяйством

ПОРЯДОК ОПИСАНИЯ ССЫЛОК НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

СТАТЬЯ В ЖУРНАЛЕ:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Буянова И.В., Имангалиева Ж.К. Агрегат для тонкого измельчения творога // Вестник Международной академии холода. 2016. № 3. С. 23–26.

(кол-во авторов более 4):

Семенов Е.В., Бабакин Б.С., Воронин М.И., Белозёров А.Г. и др. Математическое моделирование процесса охлаждения хладоносителя системой замороженных шаров // Вестник Международной академии холода. 2016. № 4. С. 74–79.

СТАТЬЯ В ЖУРНАЛЕ С DOI:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Илюхина Н.В., Колоколова А.Ю. Закономерности ингибирования культуры *Salmonella* // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 209–212. doi: 10.20914/2310-1202-2018-4-209-212

(кол-во авторов более 4):

Шарова Н.Ю., Принцева А.А., Манжиева Б.С., Выборнова Т.В. и др. Ферменты гидролитического действия в технологиях переработки некондиционного крахмалсодержащего сырья // Пищевая промышленность. 2019. № 4. С. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ:

Содержание и технологии образования взрослых: проблема опережающего образования: сб. науч. тр. / Институт образования взрослых Рос. акад. образования; под ред. А.Е. Марона. М.: ИОВ, 2007. 118 с.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ, ФОРУМОВ, СОВЕЩАНИЙ, СЕМИНАРОВ:

Цветкова И.И., Сводцева И.А. Индикаторный подход к оценке кадровой безопасности в системе экономической безопасности предприятия // Устойчивое развитие социально-экономической системы Российской Федерации: мат. XVII науч.-практ. конф., Гурзуф, Ялта, 04 декабря 2015 г. Симферополь: Ариал, 2016. С. 110–112.

КНИГА, МОНОГРАФИЯ:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Румянцева З.П. Менеджмент организаций. М.: Инфра-М, 2015. 432 с.

(кол-во авторов более 4):

Антипова Л.В., Сторублевцев С.А., Успенская М.Е., Попова Я.А. и др. Комплексная переработка кроликов: традиции и инновации: монография. Воронеж, 2017. 377 с.

ДИССЕРТАЦИЯ

Пономаренко Ю.А. Нетрадиционные корма и биологически активные вещества в рационах цыплят-бройлеров и кур-несушек: дис... д-ра с.-х. наук. Сергиев Посад: ВНИТИП, 2017. 437 с.

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ:

Ушакова А.С. Разработка комплексной технологии переработки сушеного плодово-ягодного сырья: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Кемерово: Кемер. технол. ин-т пищевой пром., 2017. 22 с.

НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ ДОКУМЕНТЫ:

порядок описания:

Заглавие официального документа: сведения, относящиеся к заглавию (указ, постановление), Дата принятия документа / Название издания. Год издания. Количество страниц.

пример:

ГОСТ 5900–2014. Изделия кондитерские. Определение массовой доли влаги и сухих веществ. М.: Стандартинформ, 2015. 8 с.

ПАТЕНТ:

порядок описания:

Обозначение вида документа, номер, название страны, индекс международной классификации изобретений. Название изобретения / И.О.Фамилия изобретателя, заявителя, патентовладельца; Наименование учреждения-заявителя. Регистрационный номер заявки; Дата подачи; Дата публикации, сведения о публикуемом документе.

пример:

Пат. № 2689672, RU, A23L 5/00. Способ комплексной переработки семян сои с выделением белоксодержащих фракций / Четверикова И.В., Шевцов А.А., Ткач В.В., Сердюкова Н.А. № 2018107149; Заявл. 26.02.2018; Оpubл. 01.07.2019. Бюл. № 19.

ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕСУРС:

порядок описания:

Фамилия И.О. автора (если указаны). Название ресурса. Место издания: Издательство, год издания (если указаны). Адрес локального сетевого ресурса.

пример:

Липидус Л.В. Центр компетенций цифровой экономики. Ассоциация граждан и организаций по содействию развитию корпоративного образования. URL: <http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/>

ПОРЯДОК ОПИСАНИЯ ССЫЛОК НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ:

СТАТЬЯ ИЗ ЖУРНАЛА:

порядок описания:

Фамилия И.О. автора (транслитерация). Перевод названия статьи на английский. Перевод названия источника на английский язык. Год, том, номер, страницы (от-до). Указание на язык статьи (in Russian) после описания статьи.

пример:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Buyanova I.V., Imangalieva Zh.K. A unit for fine grinding of cottage cheese. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 3. pp. 23–26. (in Russian).

(кол-во авторов более 4):

Semenov E.V., Babakin B.S., Voronin M.I., Belozerov A.G. et al. Mathematical modeling of the process of cooling a coolant with a system of frozen balls. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 4. pp. 74–79. (in Russian).

СТАТЬЯ С DOI:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Iyukhina N.V., Kolokolova A.Yu. Patterns of Inhibition of Salmonella Culture. Bulletin of the Voronezh State University. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 209–212. doi: 10.20914 / 2310-1202-2018-4-209-212 (in Russian).

(кол-во авторов более 4):

Sharova N.Yu., Printseva A.A., Manzhieva B.S., Vybornova T.V. et al. Hydrolytic enzymes in the processing of substandard starch-containing raw materials. Food Industry. 2019. no. 4. pp. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058 (in Russian).

СТАТЬЯ ИЗ ЭЛЕКТРОННОГО ЖУРНАЛА:

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B.P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. Journal of Computer Mediated Communication. 1999. vol. 5. no. 2. Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/>

СТАТЬЯ ИЗ ПРОДОЛЖАЮЩЕГОСЯ ИЗДАНИЯ (СБОРНИКА ТРУДОВ):

Astakhov M.V., Tagantsev T.V. Experimental study of the strength of joints “steel-composite”. Proc. of the Bauman MSTU “Mathematical Modeling of Complex Technical Systems”. 2006. no. 593. pp. 125–130. (in Russian).

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ:

Tsvetkova I.I., Svodtseva I.A. An indicator approach to the assessment of personnel security in the system of economic security of an enterprise. Sustainable development of the socio-economic system of the Russian Federation. Simferopol, Arial, 2016. pp. 110–112. (in Russian).

КНИГИ (МОНОГРАФИИ, СБОРНИКИ):

(кол-во авторов от 1 до 4):

Rumyantseva Z.P. Management of organizations: a monograph. Moscow, Infra-M, 2015. 432 p. (in Russian).

(кол-во авторов более 4):

Antipova L.V., Storublevtsev S.A., Uspenskaya M.E., Popova Ya.A. et al. Complex processing of rabbits: traditions and innovations: a monograph. Voronezh, 2017. 377 p. (in Russian).

ДИССЕРТАЦИЯ ИЛИ АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ:

Ushakova A.S. Development of a comprehensive technology for processing dried fruit and berry raw materials. Kemerovo, Kemer. Technol. Institute of Food Industry, 2017. 22 p. (in Russian).

ГОСТ:

State Standard 5900–2014. Confectionery products. Determination of the mass fraction of moisture and dry matter. Moscow, Standartinform, 2015. 8 p. (in Russian).

ПАТЕНТ:

Chetverikova I.V., Shevtsov A.A., Tkach V.V., Serdyukova N.A. The method of complex processing of soybean seeds with the allocation of protein-containing fractions. Patent RF, no. 2689672, 2019.

ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕСУРС:

Lapidus L.V. Center of competence of digital economy. Association of citizens and organizations for the development of corporate education. Available at: <http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/> (in Russian).

List of requirements of drawing up materials in «Proceedings of the Voronezh state university of engineering technologies»

Editorial Board asks the authors to stick to the following rules in writing the papers, otherwise they may be rejected. Submitting the manuscripts for the review.

Submitting the article for publication in the journal "Proceedings of the VSUET" includes: the paper has not been previously published; it is not being considered for publication in another publishing house; its publication has been approved by all authors and interlinked organizations in which this work was carried out; in case of the approval for publication the paper will not be published elsewhere in the same form, in English or any other language, including electronic form.

Submission form (application) for the publication of an article in a journal, filled up in accordance with the rules, should be sent to the following address: **19, Revolution av., 11 Voronezh 394000 Russia** and the electronic version of the paper with an attached manuscript file to an e-mail address vestnikvgt@mail.ru. Should specify the name of the first author of the article in the subject.

The electronic version of the paper should include: a file containing the text of the article, illustrations, tabular material in a separate file (if the amount of one table exceeds full page) and illustration (files in original format), preference is given to vector formats: eps, svg, ai, pdf.

If there are several authors, you must specify contact details of the authors to whom correspondence shall be addressed: address, phone / fax numbers and e-mail addresses.

The manuscript must be accompanied by a review from a specialist in this field, certified by signature and stamp.

Online application form is also available. The author can use the official website of the journal by completing registration at <http://www.vestnik-vsuet.ru/vguit/user/register>.

All articles received by the editorial board of the journal "Proceedings of the VSUET", are subject to mandatory unilateral anonymous ("blind") review (the authors do not know the names of reviewers of the manuscript, and will receive a letter with comments, signed by the chief editor).

After passing the review procedure and the approval of an article for publication, the authors' names and their listed order cannot be changed (addition, deletion, rearrangement). When submitting the final version of the article, please make sure that the list of authors is a complete and listed in a proper order.

ATTENTION: The author is solely responsible for the accuracy and originality of the information provided in the article. All manuscripts are checked for the presence of borrowings using "Antiplagiat" system. All manuscripts are tested with ANTIPLAGIAT for testing electronic documents for originality and reveal plagiarisms. The manuscript must comprise at least 80% of originality; otherwise the manuscript will be returned without the right to be published. Upon detection of copyright infringement or plagiarism in already published articles, they will be invalidated in accordance with the rules of COPE.

Requirements for structure of the paper

Articles in the journal "Proceedings of the VSUET" are published in Russian with English summary. In agreement with the editors, the publication may be done entirely in English.

By agreement, the editors accept publication of the article in English.

Full article (tables, text, footnotes, headers, inserts in a foreign language, references, captions, etc..) must be typed on a computer: in accordance with journal template formatting styles for MS Word 2007-2016..

The volume of the article, including references and captions must not exceed: for work of a common significance: from 5 to 20 pages, for news reports to 3 pages.

The manuscript should be structured to the following plan:

- *Type of article (original article, review article, short message or letter);*
- *UDC (Universal Decimal classification);*
- *DOI - numeric identifier (provided by the editors available for an extra fee);*
- *Full title of the article;*

- *First name (full), patronymic name (initials) and surname (full) of the author (s) e-mail;*
- *Name of the department (for a university) / laboratory (for Scientific Research Institute), the full name of the workplace, city, country;*

- *Abstract;*
- *Keywords;*
- *For reference (filled automatically);*
- *Structured text of the article;*
- *Thanks / acknowledgements;*
- *List of resources used (bibliography);*
- *Information about the authors;*
- *Contribution;*
- *Conflict of interest.*

The English version of the article title, first name, patronymic initial and last name of the authors, the full names of all workplaces, structured summaries and keywords must be given below a resume and keywords in Russian.

The editors reserve the right to correct the translation. It is recommended to take the help of a professional translator to avoid mistakes in compiling the English version of resume.

REQUIREMENTS TO THE CONTENT

I THE TITLE PAGE INCLUDES:

Article type

UDK

DOI:

TITLE OF THE ARTICLE. Title of work should be as short as possible (no more than 120 characters), and should accurately reflect its content. It is important to avoid titles in the form of interrogative sentences, as well as titles with an ambiguous meaning. Must use only standard abbreviations (acronyms). Must not use acronyms in the title. Full term should precede the first use of the acronym in the text.

FIRST NAME (FULL), PATRONYMIC (INITIAL) AND SURNAME (FULL) OF AUTHOR (S).

For example: **Aleksey D. Ivanov¹,**

Ivan A. Petrov²

FULL NAME OF ALL ORGANIZATIONS to which the authors are related. If the authors work in different institutions, the relationship of each author with his organization should be shown by using uppercase numbers, for example:

Example: Department (Laboratory), University (scientific research institute), city, country.

II. THE MAIN TEXT OF THE ARTICLE

The manuscripts of original research are submitted under the standard international scheme (IMRAD format - Introduction, Methods, Results and Discussion) and article should reflect the following headings:

Introduction - outlines the current state of the problem and the urgency of the study. It is necessary to give a critical assessment of the literature related to the issue. This assessment differentiates outstanding issues. Clear defined goals and objectives must be determined, explaining further research in a particular area;

Materials and methods - a fairly detailed description of the work is given. Previously published methods should be accompanied by a reference note: the author describes the changes related to the subject.

The results and discussion - the results should be clear and concise. Give a convincing explanation of the results and their significance so as the reader can not only independently assess the methodological advantages and disadvantages of the study, but also replicate if necessary.

Conclusion summarizes the main results of the research. The author gives recommendations and guidance on possible areas of further research.

The name and contents of figures and tables (rows and columns) should be given as in both Russian and English languages.

III ACKNOWLEDGEMENTS:

(when available - in Russian and English). The author should list persons, organizations, foundations, etc., who contributed help for a research, work and so on. (E.g. financial aid, language (linguistic) aid assistance in writing articles or editing proofreading , etc.)

IV. REFERENCES

Cited bibliography must contain at least 10 sources. Self-citations are allowed no more than 20 percent. At least 50 percent of the sources from the bibliography should be published in the last five years, including in the journals indexed in databases **ScienceDirect**, **Web of Science**, **Scopus**, **Science Index**. Only in case of need the references to earlier works are allowed. The bibliography does not include textbooks, regulatory and archival materials, statistical collections, newspaper notes without the author's name, monographs, abstracts and theses. In the cited literature, it is desirable to specify the sources with **DOI**.

Bibliography (list of resources) is presented in two ways:

1. *Russian along with foreign sources in accordance with GOST 7.0.5-2008 (All Union State standard).*
2. *Transliterated in the Latin alphabet with the translation of source publications into English for the international identification system.*

Style of links (references):

In the article, the number of a link is enclosed in square brackets and placed in line with the text. You can give the names of the authors, but the number(s) of the references must always be present. The reference numbers (numbers in brackets) shall be in the reference list in the order in which they appear in text.

Example:

«... as shown [3; 6] or Barnaby and Jones [8] obtained a different result ... »

The author is solely responsible for the accuracy of bibliographic sources, including the English translation.

1. Russian version - in accordance with *Appendix 1, 2*

References in the Russian version of the article are given in the original language. All references should be made uniformly: only a dot (full stop) without dashes between the parts of description. Symbols № and & are not used; for a number you should use Latin letter N with no point after it; double slash separates the description of a larger document, which refers to the fragment. You should not put dot (full stop) before the double slash // but spaces before and after the double slash // are required.

2. The English (REFERENCES) - in accordance with Harvard standard:

References in English are primarily necessary to track cited authors and journals. The correct description of the sources used in reference lists is the guarantee that the quoted publication will be taken into account when assessing the scientific work of its authors, and thus the organization, region and country. Quoting a journal determines its scientific level, the credibility, the effectiveness of its Editorial Board, etc.

The names of sources and works are specified in full, without abbreviations. The titles of monographs, collections of articles and conferences are transliterated into Latin alphabet, followed by an English translation in brackets. The website <http://www.translit.ru/> can be used for free transliteration of Russian text in Latin letters (version of BSI).

In the bibliography (**English version**), it is not allowed to use separating characters «//», «—» and «№»

Instead of references to materials of theses and abstracts, it is recommended to include references to the original articles on the subject of the thesis, as the theses themselves are viewed as the manuscripts and are not printed sources.

VI. BASIC ETHICAL PRINCIPLES

Articles accepted for publication in the journal "Proceedings of the VSUET" must reveal the most significant, complete and previously unpublished research results.

To learn more on publication ethics and ethical standards for publication in the journal "Proceedings of the VSUET" please visit the website.: <http://www.vestnik-vsuet.ru/vguir/about/editorialPolicies#custom-2>

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

VII. CONTACT INFORMATION

scientific and public journal "Proceedings of the VSUET"

If you have any questions, please contact the editorial office:

Anna A. Derkanosova - Ph.D., associate professor of department of Service and restaurant business, Head of the Centre for collective use "Control and management of energy efficient projects"

FSBEE HE "Voronezh state university of engineering technologies"

Tel.: 8 920 432 16 57

E-mail: vestnikvgta@mail.ru, aa-derk@yandex.ru

Address: 19, Revolution av., 11 Voronezh 394000 Russia

ORDER OF DESCRIPTION OF LINKS IN RUSSIAN

JOURNAL ARTICLE:

(number of authors from 1 to 4):

Buyanova I.V., Imangalieva Zh.K. A unit for fine grinding of cottage cheese // Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. № 3. P. 23–26.

(number of authors more than 4):

Semenov E.V., Babakin B.S., Voronin M.I., Belozarov A.G. et al. Mathematical modeling of the process of cooling a coolant with a system of frozen balls // Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. № 4. P. 74–79.

ARTICLE WITH DOI:

(number of authors from 1 to 4):

Ilyukhina N.V., Kolokolova A.Yu. Patterns of Inhibition of *Salmonella* Culture // Bulletin of the Voronezh State University. 2018. V. 80. № 4. P. 209–212. doi: 10.20914 / 2310-1202-2018-4-209-212

(number of authors more than 4):

Sharova N.Yu., Printseva A.A., Manzhieva B.S., Vybornova T.V. et al. Hydrolytic enzymes in the processing of substandard starch-containing raw materials // Food Industry. 2019. № 4. P. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS:

The content and technology of adult education: the problem of advanced education: collection of scientific papers / Institute for Adult Education Ros. Acad. education; under the editorship of A.E. Marona. M.: JOB, 2007. 118 p.

MATERIALS OF CONFERENCES, FORUMS, MEETINGS, SEMINARS:

Tsvetkova I.I., Svodtseva I.A. An indicator approach to the assessment of personnel security in the system of economic security of an enterprise // Sustainable development of the socio-economic system of the Russian Federation: mat. XVII scientific and practical. conf., Gurzuf, Yalta, December 4, 2015. Simferopol: Arial, 2016. P. 110–112.

BOOK, MONOGRAPH:

(number of authors from 1 to 4):

Rumyantseva Z.P. Management of organizations. M.: Infra-M, 2015. 432 p.

(number of authors more than 4):

Antipova L.V., Storulevtsev S.A., Uspenskaya M.E., Popova Y.A. et al. Integrated processing of rabbits: traditions and innovations: a monograph. Voronezh, 2017. 377 p.

DISSERTATION:

Ponomarenko Yu.A. Unconventional feeds and biologically active substances in the diets of broilers and laying hens: dis ... Dr. S.-kh. sciences. Sergiev Posad: VNITIP, 2017. 443 p.

SUMMARY OF THE DISSERTATION

Ushakova A.S. Development of a comprehensive technology for processing dried fruit and berry raw materials: abstract of the diss....cand. tech. sciences. Kemerovo: Kemer. technol. Institute of Food Industry, 2017. 22 p.

REGULATORY DOCUMENTS:

description order:

Title of an official document: information related to the title (decree, resolution), Date of adoption of the document / Title of publication. The year of publishing. Number of pages.

example:

GOST 5900–2014. Confectionery. Determination of the mass fraction of moisture and solids. M.: Standartinform, 2015. 8 p.

PATENT:

description order:

Designation of the type of document, number, name of the country, index of international classification of inventions. Title of invention / name of inventor, applicant, patent holder; Name of applicant institution. Registration number of the application; Date of application; Date of publication, information about the published document.

example:

7 Pat. no. 2689672, RU, A23L 5/00. The method of complex processing of soybean seeds with the allocation of protein-containing fractions / Chetverikova I.V., Shevtsov A.A., Tkach V.V., Serdyukova N.A. no. 2018107149; Appl. 26.02.2018; Publ. 01.07.2019. Bull. Number 19.

ELECTRONIC RESOURCE:Lapidus L.V. Center of competence of digital economy. Association of citizens and organizations for the development of corporate education. URL: <http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/>

ENGLISH LANGUAGE DESCRIPTION PROCEDURE:**JOURNAL ARTICLE:**

description order:

Surname I.O. author (transliteration). Translation of the title of the article into English. Translation of the source name into English. Year, volume, number, pages (from-to). An indication of the language of the article (in Russian) after the description of the article.

example:

(number of authors from 1 to 4):

Buyanova I.V., Imangalieva Zh.K. A unit for fine grinding of cottage cheese. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 3. pp. 23–26. (in Russian).

(number of authors more than 4):

Semenov E.V., Babakin B.S., Voronin M.I., Belozerov A.G. et al. Mathematical modeling of the process of cooling a coolant with a system of frozen balls. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 4. pp. 74–79. (in Russian).

ARTICLE WITH DOI:

(number of authors from 1 to 4):

Ilyukhina N.V., Kolokolova A.Yu. Patterns of Inhibition of Salmonella Culture. Bulletin of the Voronezh State University. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 209–212. doi: 10.20914 / 2310-1202-2018-4-209-212 (in Russian).

(number of authors more than 4):

Sharova N.Yu., Printseva A.A., Manzhieva B.S., Vybornova T.V. et al. Hydrolytic enzymes in the processing of substandard starch-containing raw materials. Food Industry. 2019. no. 4. pp. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058 (in Russian).

ARTICLE FROM ELECTRONIC JOURNAL:

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B.P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. Journal of Computer Mediated Communication. 1999. vol. 5. no. 2. Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/>

ARTICLE FROM CONTINUING PUBLICATIONS (PROCEEDINGS):

Astakhov M.V., Tagantsev T.V. Experimental study of the strength of joints “steel-composite”. Proc. of the Bauman MSTU “Mathematical Modeling of Complex Technical Systems”. 2006. no. 593. pp. 125–130. (in Russian).

CONFERENCE MATERIALS:

Tsvetkova I.I., Svodtseva I.A. An indicator approach to the assessment of personnel security in the system of economic security of an enterprise. Sustainable development of the socio-economic system of the Russian Federation. Simferopol, Arial, 2016. pp. 110–112. (in Russian).

BOOK, MONOGRAPH:

(number of authors from 1 to 4):

Rumyantseva Z.P. Management of organizations: a monograph. Moscow, Infra-M, 2015. 432 p. (in Russian).

(number of authors more than 4):

Antipova L.V., Storublevtsev S.A., Uspenskaya M.E., Popova Ya.A. et al. Complex processing of rabbits: traditions and innovations: a monograph. Voronezh, 2017. 377 p. (in Russian).

DISSERTATION OR SUMMARY OF THE DISSERTATION:

Ushakova A.S. Development of a comprehensive technology for processing dried fruit and berry raw materials. Kemerovo, Kemer. Technol. Institute of Food Industry, 2017. 22 p. (in Russian).

GOST:

State Standard 5900–2014. Confectionery products. Determination of the mass fraction of moisture and dry matter. Moscow, Standartinform, 2015. 8 p. (in Russian).

PATENT:

Chetverikova I.V., Shevtsov A.A., Tkach V.V., Serdyukova N.A. The method of complex processing of soybean seeds with the allocation of protein-containing fractions. Patent RF, no. 2689672, 2019.

ELECTRONIC RESOURCE:

Lapidus L.V. Center of competence of digital economy. Association of citizens and organizations for the development of corporate education. Available at: <http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/> (in Russian).