

На правах рукописи



**Миллер Юлия Юрьевна**

**НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ  
БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ПРОИЗВОДСТВУ  
ФЕРМЕНТИРОВАННЫХ ЗЕРНОВЫХ НАПИТКОВ  
С РЕГУЛИРУЕМЫМ НУТРИЕНТНЫМ СОСТАВОМ**

Специальность 4.3.5. Биотехнология продуктов питания  
и биологически активных веществ

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Екатеринбург – 2024

Диссертационная работа выполнена в автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования Центросоюза Российской Федерации «Сибирский университет потребительской кооперации» (АНОО ВО Центросоюза РФ «СибУПК»)

**Научный консультант:** доктор технических наук, профессор  
**Помозова Валентина Александровна**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук  
**Абрамова Ирина Михайловна,**  
директор ВНИИ пищевой биотехнологии – филиала  
ФГБУН «Федеральный исследовательский центр  
питания, биотехнологии и безопасности пищи»

доктор технических наук  
**Кобелев Константин Викторович,**  
директор ВНИИ пивоваренной, безалкогольной  
и винодельческой промышленности – филиала  
ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых  
систем им. В.М. Горбатова» РАН

доктор технических наук, доцент  
**Ермолаева Евгения Олеговна,**  
профессор кафедры управления качеством ФГБОУ  
ВО «Кемеровский государственный университет»

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Защита диссертации состоится 20 декабря 2024 г. в 10:00 на заседании диссертационного совета 24.2.425.03 при ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет» по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», зал диссертационных советов (ауд. 150).

Отзывы на автореферат, заверенные гербовой печатью, просим направлять по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ГСП-985, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», ученому секретарю диссертационного совета 24.2.425.03. Факс: (343) 283-13-25.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет». Автореферат размещен на официальном сайте ВАК Минобрнауки России: <https://vak.minobrnauki.gov.ru> и на сайте ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»: <http://science.usue.ru>.

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат сельскохозяйственных наук,  
доцент

 Л. А. Донскова

## Общая характеристика работы

**Актуальность темы исследования.** Приоритетным направлением государственной социально-экономической политики является обеспечение продовольственной безопасности, гарантирующей продовольственную независимость страны и доступ населения к качественной и безопасной пищевой продукции. В связи с этим, согласно действующим Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности РФ и Стратегии повышения качества пищевой продукции в РФ, необходимо трансформировать пищевые технологии с учетом приоритетных направлений развития пищевой индустрии, возможных экономических и технологических рисков, влияющих на стабильность производства продуктов с функциональными свойствами, укрепляющих позиции продовольственной продукции российского производства на потребительском рынке.

Одной из групп пищевых продуктов, требующих прогрессивных технологических решений, ориентированных на производство качественной и безопасной продукции, являются безалкогольные напитки. В качестве перспективного направления в данной перерабатывающей отрасли можно выделить производство ферментированных напитков на основе растительного сырья, в том числе зернового. Расширение сырьевой базы для пивобезалкогольной промышленности за счет привлечения нетрадиционных сельскохозяйственных культур, в том числе с биогенным потенциалом, позволит получить продукцию с повышенной пищевой и биологической ценностью, при этом поддержит отечественный АПК.

Основным сырьем в производстве напитков брожения являются традиционные зерновые культуры (ячмень, пшеница, рожь), использование которых позволяет выпускать продукцию со стандартными качественными показателями. С целью придания продукции улучшенных характеристик, в том числе за счет обогащения напитков эссенциальными элементами, необходимо технологически обоснованно вводить в рецептуры нетрадиционные виды сырья, преимущественно местного и близлежащих регионов, отличающиеся нутриентным составом, а также создавать целеориентированные технологии, в том числе с применением биотехнологических приемов переработки зернового сырья, позволяющие сформировать требуемый состав напитков.

Кроме этого, с учетом ориентации на государственные приоритеты, проектируемые технологии должны быть максимально адаптируемыми к внедрению на действующих пивобезалкогольных предприятиях, в связи с чем предлагаемый формат трансформации должен учитывать материально-технологические возможности предприятия и нетрудозатратность введения инноваций в производство новой продукции.

Вследствие этого исследования по разработке инновационных решений производства продукции пивобезалкогольной отрасли, отвечающих стратегическим проектам пищевой индустрии и своевременно поддержи-

вающих перерабатывающую промышленность в условиях действующих санкций, в том числе по импортозамещению продовольственной продукции и реализации сельскохозяйственного сырья, являются актуальными и перспективными в направлении развития пищевых производств.

**Степень разработанности темы исследования.** Исследования в области разработки качественных и безопасных продуктов питания и напитков с целевым нутриентным составом проводятся рядом отечественных и зарубежных ученых. Особый научный вклад в разработку безопасной пищевой продукции с эссенциально элементарными свойствами, в том числе напитков пивобезалкогольной отрасли, совершенствования технологии ферментированных напитков на основе зернового и другого растительного сырья внесли М.В. Гернет, Л.М. Думбрава, Г.А. Ермолаева, Е.О. Ермолаева, Н.В. Заворохина, Т.В. Иванова, В.С. Исаева, Т.Ф. Киселева, К.В. Кобелев, И.В. Новикова, В.А. Помозова, В.М. Позняковский, Н.Т. Пехтерева, В.Г. Тихомиров, О.В. Чугунова, М.Н. Школьникова, R. Carle, V. Evans, A. Platzman и др.

Однако, учитывая ассортиментную неустойчивость потребительского рынка продовольственной продукции, в том числе по группе безалкогольных напитков, нестабильность качества сырья, определяющего качественные характеристики готовой продукции, влияние социально-экономических факторов, ориентацию на стратегические направления развития пищевой индустрии, необходимо вести постоянный поиск новых технологических решений производства напитков, в связи с чем исследования, направленные на проектирование технологий ферментированных зерновых напитков с применением биотехнологических приемов на стадии подготовки сырья и его переработки в напитки, являются актуальными и своевременными.

#### **Цели и задачи диссертационных исследований.**

*Целью* диссертационной работы является научное обоснование и разработка технологии ферментированных зерновых напитков (ФЗН) с повышенной пищевой и биологической ценностью с применением биотехнологических подходов.

Для достижения поставленной цели определены следующие *задачи*:

1) научно обосновать модульно-алгоритмический подход к производству ФЗН с регулируемым нутриентным составом; определить модульные и алгоритмические элементы системы, формирующие показатели качества ФЗН;

2) обосновать формирование сырьевого элемента в производстве ФЗН: провести аналитическую оценку ресурсных возможностей АПК России с целью отбора зернового и бобового сырья для производства ФЗН по агротехническим, биотехнологическим и нутриентным свойствам;

3) научно обосновать технологический модуль системы и практически подтвердить его эффективность:

– провести биотрансформацию сырьевого элемента системы путем биокаталитического воздействия на сырье с применением стимуляторов роста химической и биохимической природы;

– определить оптимальные технологические режимы и параметры технологического модуля производства ФЗН, формирующие показатели качества;

– организовать технологический модуль с применением алгоритмических действий и опциональных аддитивных технологических решений;

– разработать технологию и рецептуры ФЗН на основе ячменного, пшеничного, ржаного, овсяного и соевого солодов с применением модульно-алгоритмического подхода;

4) разработать систему управления технологическими рисками с целью обеспечения качественных показателей ФЗН, включающую схему технотехнологического контроля производства ФЗН и плана ХАССП, превентивные технологические действия;

5) оценить эффективность функционирования модульно-алгоритмического подхода к производству ФЗН и конкурентоспособность ФЗН путем проведения рыночных исследований, расчета себестоимости, оценки качества ФЗН с разработкой шкалы дегустационной оценки ФЗН;

б) провести производственную апробацию и внедрить разработанные рецептуры и технологию на предприятиях пивобезалкогольной промышленности; разработать техническую документацию; внедрить результаты исследований в учебный процесс образовательной организации.

**Научная концепция.** Обоснование и разработка модульно-алгоритмического подхода к производству качественных и безопасных ФЗН с регулируемым нутриентным составом.

**Научная новизна.** Элементы научной новизны:

1. Впервые научно обоснована и разработана функциональная модель ФЗН гибридного типа с сочетанием модульного и алгоритмического подходов: модульного – применительно к меняющейся функциональной структуре системы с использованием биотехнологических методов и приемов, алгоритмического – к неизменной составляющей технологического процесса. Сформирован состав элементов системы: модульного – сырье с биотехнологическим потенциалом и целевым нутриентным составом, биотехнологические подходы к формированию ресурсного элемента, аддитивные технологические приемы формирования нутриентного состава сусле ФЗН, биотехнологические решения в технологии ФЗН, рецептурное моделирование ФЗН с прогнозированием целевого нутриентного состава; алгоритмического – биотрансформация сырьевого элемента солодоращением, аппаратурно-технологическое сопровождение производства ФЗН с приобретением и сохранением качественных показателей (п. 5, 25, 26 паспорта научной специальности 4.3.5).

2. Обоснованы механизмы ферментативной модификации химического состава зернового и бобового сырья за счет стимуляции при проращива-

нии с использованием комплекса органических кислот в концентрации  $10^{-9}$  моль/дм<sup>3</sup>, препарата «Энерген» в концентрации 0,6 г/дм<sup>3</sup>, ферментных препаратов (ФП) «Бирзим БГ» в концентрации 0,4 % и «Целмолаза» в концентрации 0,6 % (техническая новизна подтверждена патентами № 2706540 «Способ производства ржаного неферментированного солода», № 2773493 «Способ производства соевого солода») (п. 8 паспорта научной специальности 4.3.5).

3. Доказана эффективность биокаталитической обработки ячменя, пшеницы, ржи, овса и сои с применением стимулирующих препаратов для улучшения качественных и биотехнологических свойств ресурсного элемента: в технологии ячменного солода комплекс органических кислот обеспечивает повышение амилазной активности (АС) на 28,6 %, протеолитической активности (ПС) на 35,2 %, количества аминокислот на 15,7 %; в технологии пшеничного солода комплексный препарат «Энерген» способствует повышению АС на 15,9 %, ПС на 57,3 %, содержания аминокислот на 12,1 %, снижению количества клейковины на 12,3 %; в технологии ржаного ферментированного и неферментированного солода применение ФП «Бирзим БГ» приводит к повышению цитолитической активности (ЦА) на 52,0–62,0 %, количества аминокислот на 17,3–15,8 %; в технологии овсяного солода использование цитолитического ФП «Целмолаза» повышает ЦА на 33,7 %, содержание аминокислот на 15,4 %; в технологии соевого солода применение комплекса органических кислот обеспечивает снижение количества антипитательных веществ в 2,5 раза, увеличение АС на 20,6 %, повышение биологической ценности сырья за счет увеличения содержания аминокислот на 32,4 % (п. 7, 16 паспорта научной специальности 4.3.5).

4. Обоснованы параметры основных стадий производства ФЗН, формирующие их пищевую и биологическую ценность: нутриентный состав сырья; технологические режимы биомодификации ресурсного элемента, биокаталитической переработки сырья в сусло, ферментации сусла; требования к сбразивающим микроорганизмам; применение аддитивных технологических приемов (п. 6, 25 паспорта научной специальности 4.3.5).

5. Установлено, что применение аддитивных технологий в виде механохимического воздействия на ржаной и овсяный солоды на стадии подработки сырья способствует повышению выхода сбразиваемых сахаров на 17,6–20,8 %, аминного азота на 21,9–31,6 % (п. 16 паспорта научной специальности 4.3.5).

6. Показано повышение пищевой и биологической ценности ФЗН при использовании высокоферментативных солодов (ячменного, пшеничного, ржаного, овсяного и соевого) за счет увеличения содержания аминокислот в 1,7–2,8 раза, органических кислот до 18,6 %, витаминов группы В в 1,6–2,3 раза (техническая новизна подтверждена патентом № 2705285 «Способ производства поликомпонентного солодового сброженного напитка») (п. 6 паспорта научной специальности 4.3.5).

**Теоретическая значимость** заключается в применении научно обоснованных методологических подходов к формированию пищевой системы ФЗН с определением основных системообразующих факторов и формализации ее отдельных функций модульно-алгоритмическими действиями по технологическому процессу. На основании аналитических исследований, определяющих принципы, факторы, методы создания ФЗН, предложена модель производства импортозамещающих безалкогольных напитков на основе взаимозаменяемого зернового и бобового сырья, производимого отечественным АПК.

**Практическая значимость** результатов диссертационного исследования заключается в следующем.

1. Усовершенствована технология ячменного, пшеничного, ржаного, овсяного и соевого солодов за счет использования стимуляторов роста, обеспечивающих наиболее полное белковое растворение, повышение ферментативной активности (ФА) и снижение содержания антипитательных веществ в соевом солоде.

2. Разработана технология ФЗН с целевым нутриентным составом на основе ячменного, пшеничного, ржаного, овсяного и соевого солодов, обогащенных продуктами гидролиза белка, органическими кислотами, витаминами группы В.

3. Разработана техническая документация на производство ячменного, пшеничного, ржаного, овсяного и соевого солодов: ТУ 11.06.10-065-01597951-2021 (производство овсяного солода), ТУ 11.06.10-066-01597951-2021 (производство соевого солода), ТИ 11.06.10-067-01597951-2021 (производство ячменного, пшеничного, ржаного, овсяного, соевого солодов).

4. Разработана техническая документация на производство ФЗН (ТИ 11.07.19-068-01597951-2022).

5. Разработанные рецептуры и технология ФЗН, способы стимулирования солодоращения прошли производственную апробацию на предприятиях пивобезалкогольной отрасли Новосибирской, Кемеровской области, Алтайского края, результаты подтверждены актами внедрения и производственных испытаний.

6. Результаты исследований используются в образовательном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлениям 38.03.07 «Товароведение», 19.03.04 «Технология продукции и организация общественного питания», 19.04.04 «Технология продукции и организация общественного питания» в АНОО ВО Центросоюза РФ «Сибирский университет потребительской кооперации».

**Методология и методы исследования.** Методология диссертационных исследований основана на современных принципах системного подхода к предмету исследования. Для реализации цели и задач исследования использованы общепринятые и специальные методы сбора информации, стандартные и специфические методы физико-химического анализа, сенсорного анализа, обобщения и систематизации информации, а также принципы си-

стемного подхода к производству пищевых продуктов. Расчет показателей и математическая обработка результатов исследования проводили с применением программ Microsoft Excel и Statistica 12.

**Положения, выносимые на защиту.**

Методологические подходы к формированию ФЗН с декомпозицией технологической системы на модульные элементы.

Функциональная концепция формирования нутриентного состава ФЗН.

Биотехнологические решения по модификации ресурсного элемента в производстве ФЗН.

Параметры активации конструктивного и клеточного обмена при проращивании зернового и бобового сырья, обеспечивающие высокий уровень биокаталитических и технологических характеристик сырья.

Технологические решения по формированию суслу для ФЗН, оптимизирующие нутриентный состав.

Механохимический способ обработки солодов с целью повышения выхода экстрактивных веществ.

Биотехнологические решения на стадии ферментации суслу, формирующие нутриентный состав и качество ФЗН.

**Степень достоверности результатов.** Экспериментальная часть диссертационных исследований проведена с применением современных и общепринятых в практике пивобезалкогольной промышленности методов, представленные в диссертационной работе результаты исследований обработаны статистическими методами, прошли практическую апробацию, рекомендованы к внедрению в производство.

**Апробация результатов исследования.** Основные результаты диссертационной работы представлены и обсуждены на международных и всероссийских научных мероприятиях в период 2013-2021 гг в г. Москва, Чита, Красноярск, Кемерово, Новосибирск, Калининград, Воронеж и др.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** Диссертационные исследования соответствуют п. 5, 6, 7, 8, 16, 25, 26 паспорта научной специальности 4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ.

**Публикации.** По материалам диссертационного исследования опубликовано 67 работ, в том числе 3 монографии, 7 статей в изданиях, включенных в базы цитирования Scopus, 17 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ (7 – RSCI, K1, 10 – K2).

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения и семи глав, включающих обзор литературы, методологию проведения и результаты исследований, заключение и список литературы. Основная часть работы изложена на 330 страницах. Диссертация содержит 108 рисунков и 64 таблицы. Список литературы включает 396 публикаций отечественных и зарубежных авторов.

## Основное содержание работы

Диссертационное исследование выполнено на базе кафедры товароведения и экспертизы товаров АНОО ВО Центросоюза РФ «Сибирский университет потребительской кооперации», в ФГБУ «Кемеровская ЦСМ», в ФГБУ «Кемеровская межобластная ветеринарная лаборатория». Исследование проводили в семь этапов, включая теоретические исследования, разработку методологических подходов к формированию нутриентного состава ФЗН, практическое подтверждение предлагаемой концепции, формирование предложений по коммерциализации результатов. Методологическая схема исследований представлена на рисунке 1.

**Объекты исследований:** ячмень, пшеница, рожь, овес, соя; сусло для ФЗН перед ферментированием и в процессе ферментирования; сухие хлебопекарные дрожжи: «Fermipan brown», «Nevada», «Saf-instant», «Saf-levur», «Настама» и «Angel»; сухие пивные дрожжи: «Saflager S-23» и «Saflager W-34/70»; ФЗН; солода: ячменный, пшеничный, ржаной ферментированный, ржаной неферментированный, овсяный и соевый.

**Материалы исследований:** комплекс органических кислот; комплексный препарат «Энерген» производителя «BreenBelt»; ФП цитолитического действия «Целмолаза» и «Бирзим БГ».

На первом этапе в рамках теоретического блока проведен анализ литературных источников с целью изучения возможности и целесообразности производства ФЗН. Проведена сравнительная оценка четырех видов зернового и одного вида бобового сырья, отмечено преимущество данного сырья по содержанию белка и аминокислот. Рассмотрены способы стимулирования биотрансформации сырья, проведен их сравнительный анализ. Изучение нормативной базы по безалкогольным напиткам показало ограниченную классификацию по группе ФЗН, требующую расширения по ключевым классификационным признакам.

**Второй этап** исследований посвящен научному обоснованию применяемых методологических подходов к формированию качественных и безопасных ФЗН. Концептуальный подход представляет собой интегрирование модульных блоков системы при алгоритмически выстроенных действиях формирования отдельных элементов системы с учетом снижения экономических и технологических рисков.

Предлагаемая концепция базируется на следующих принципах:

1) соответствие стратегическим направлениям государственных программ в области обеспечения продовольственной безопасности и развития пищевых и перерабатывающих производств посредством разработки технологии безалкогольной продукции, обеспечивающей реализацию и достижение стратегических целей, в том числе:

– импортозамещение основных продуктов питания, их ингредиентов и компонентов, а также вспомогательных материалов производства, используемых в целях интенсификации технологии;

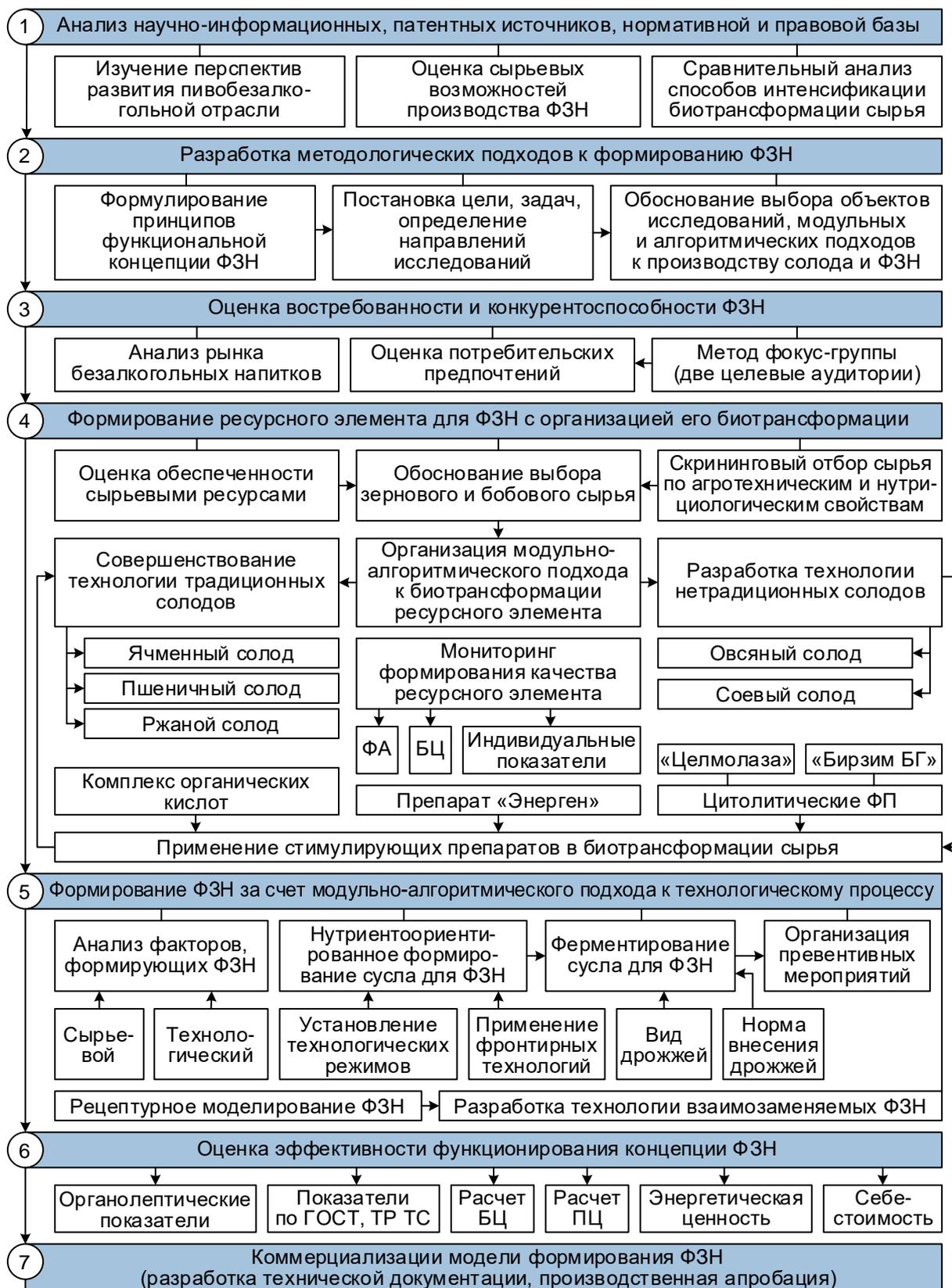


Рисунок 1 – Методологическая схема исследований

– производство пищевых продуктов, обогащенных незаменимыми веществами, с применением модульного подхода формирования пищевой системы напитков;

– развитие сырьевой базы АПК для совершенствования производства продукции пивобезалкогольной отрасли;

2) востребованность и конкурентоспособность ФЗН на потребительском рынке;

3) модульный подход к формированию ресурсного элемента для ФЗН за счет расширения сырьевой базы пивобезалкогольной отрасли взаимозаменяемым эссенциально обогащенным сырьем, одновременно перспективной к применению в пищевых производствах и снижающей агротехнические и экологические риски перерабатывающих производств, а также экономические риски в условиях новых вызовов;

4) применение интегральной модульной технологии в формировании ФЗН (рисунок 2):

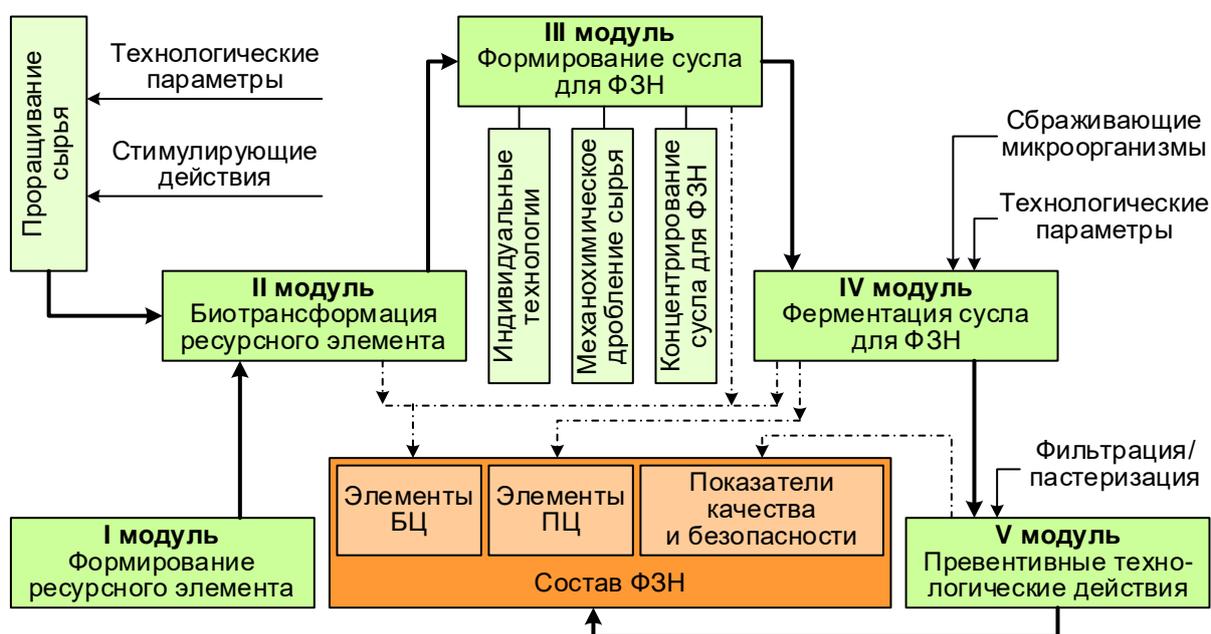


Рисунок 2 – Модульный подход к формированию ФЗН

I) скрининг сортов зернового и бобового сырья по агротехническим и эссенциально значимым характеристикам, произрастающего в разных регионах страны, обеспечивающий стабильность нутриентного состава ресурсного элемента системы и бесперебойность ресурсоснабжения предприятий пивобезалкогольной отрасли при возможных агротехнических и экономических рисках, с целью отбора сырья в производстве ФЗН с повышенной БЦ;

II) биокаталитическая трансформация сырья, формирующая его эссенциально-элементарный состав, исключая вариабельность нутриентного состава ФЗН;

III) формирование суслу для ФЗН с необходимым нутриентным составом аддитивными технологическими решениями;

IV) организация ферментации суслу для ФЗН с учетом особенностей технологических режимов данного процесса и взаимосвязанности факторов,

формирующих пищевую систему качественных и безопасных ФЗН с эссенциально-элементарными свойствами;

V) модульный подход к обеспечению устойчивости сформированного состава ФЗН превентивными технологиями – фильтрацией и (или) пастеризацией, пролонгирующей сроки годности напитков, и организацией управленческого контроля производства ФЗН с разработкой плана мероприятий ХАССП.

Эссенциальными элементами состава проектируемых ФЗН определены аминокислоты, в том числе незаменимые, обуславливающие биологическую ценность (БЦ) напитков, а также витамины группы В и органические кислоты, обуславливающие пищевую ценность (ПЦ) напитков, образование которых проходит через модуль формирования ресурсного элемента и двухступенчатый технологический модуль – формирования суслу для ФЗН и его ферментации. Модульно-алгоритмическая схема действий поэтапно представлена на рисунке 3.

<i>Модульный блок производства ФЗН</i>	<i>Оptionальные действия (аддитивные технологии)</i>	<i>Алгоритмические производственные действия</i>
I. Формирование ресурсного элемента	Целеориентированный нутрициологический и агротехнический отбор ресурсного элемента, определение контрольных индикаторов скринингового контроля сырья	Контроль сырья
II. Биотрансформация ресурсного элемента	1. Оптимизация технологических режимов для каждого вида сырья	Технологическая линия производства солода (последовательность, оборудование)
	2. Использование биостимуляторов химической и биохимической природы	Контроль сырья и солода (ресурсного элемента)
	3. Установление контролируемых показателей сырьевого элемента в процессе биотрансформации	
III. Формирование суслу для ФЗН	1. Оптимизация технологических режимов стадии затирания	Технологическая линия приготовления суслу (последовательность, оборудование)
	2. Рецептурное моделирование ФЗН по нутрициологическим и технологическим показателям суслу	Контроль полупродуктов ФЗН
	3. Применение механохимического способа измельчения сырья и аддитивных технологий концентрирования суслу для ФЗН	
IV. Ферментация суслу для ФЗН	1. Подбор сбраживающих микроорганизмов, установление нормы их внесения	Контроль полупродуктов, микроорганизмов
	2. Оптимизация процесса ферментации по технологической линии	Технологическое оборудование, технологические режимы
V. Превентивные технологические действия	Организация управленческого контроля производства ФЗН по системе ХАССП	Технологическое оборудование, технологические режимы
		Контроль сырья, полупродуктов, ФЗН

Контроль ресурсного элемента, полупродуктов производства ФЗН, готовых ФЗН элементами пищевой системы ФЗН, готовых ФЗН стандартными методами

Рисунок 3 – Модульно-алгоритмическая схема технологических действий

В заключение данного блока предложена классификация ФЗН по четырем классификационным признакам: по основному сырью, по компонентному составу, по технологическому признаку (в том числе типу брожения, наличию стадии купажирования, способу обработки ФЗН), по функциональности.

На **третьем этапе** проведена оценка конкурентоспособности предлагаемых к разработке ФЗН. Выполнен анализ рынка напитков, методом фокус-группы проведены маркетинговые исследования в двух целевых ауди-

ториях относительно возможности приобретения разработанных ФЗН, подтверждающие положительное отношение респондентов к покупке продукции, в том числе ФЗН с новыми свойствами, ввиду осведомленности респондентов относительно потребительских свойств такой продукции.

**Четвертый этап** исследований (модуль биотрансформации ресурсного элемента) посвящен разработке технологии солода на основе традиционного и нетрадиционного зернового и бобового сырья, отобранного с учетом возможности обеспечения пивобезалкогольной отрасли сырьем отечественного производства и его оценки по агротехническим, нутрициологическим и технологическим показателям, в том числе урожайности, содержанию белка и способности прорастания соответственно.

Статистический анализ ресурсных возможностей (рисунок 4) показал имеющийся отечественный взаимозаменяемый ресурсный потенциал, способный обеспечить предприятия пивобезалкогольной отрасли Сибирского федерального округа сырьем высокого качества, в том числе произрастающим в местном и близлежащих регионах, что исключает агротехнический и экономические риски производства ФЗН.

С целью индуцирования биокаталитических процессов, происходящих в сырье при солодоращении в ходе проращивания ячменного, пшеничного, ржаного, овсяного и соевого солодов, на стадии замачивания использовали комплекс органических кислот (янтарной, лимонной, яблочной, фумаровой и 2-оксоглутаровой) и комплексный препарат «Энерген»; при проращивании овсяного и соевого солода дополнительно – цитолитические ФП «Целмолаза» и «Бирзим БГ».

Для установления оптимальной дозировки вносимых стимуляторов проведена сравнительная оценка эффективности обработки сырья по показателям ФА в разных концентрациях.

Биотрансформация ресурсного элемента представляла собой классическую алгоритмическую модель производства солода с индивидуальными режимами для каждого вида сырья. Продолжительность проращивания для ячменя, пшеницы и овса составила 7 сут, ржи – 4 сут, сои – 3 сут.

В ходе солодоращения организован контроль ключевых показателей проращиваемого сырья и системы производства солода. Контрольными индикаторами оценки эффективности стимулирования химическими активаторами роста являлись АС и ПС свежепросоженного солода, биохимического воздействия – ЦА (рисунки 5–7 для примера по каждой ФА).

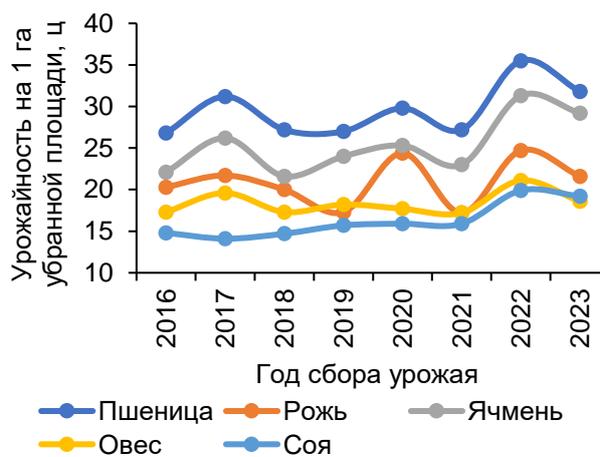


Рисунок 4 – Урожайность сырья

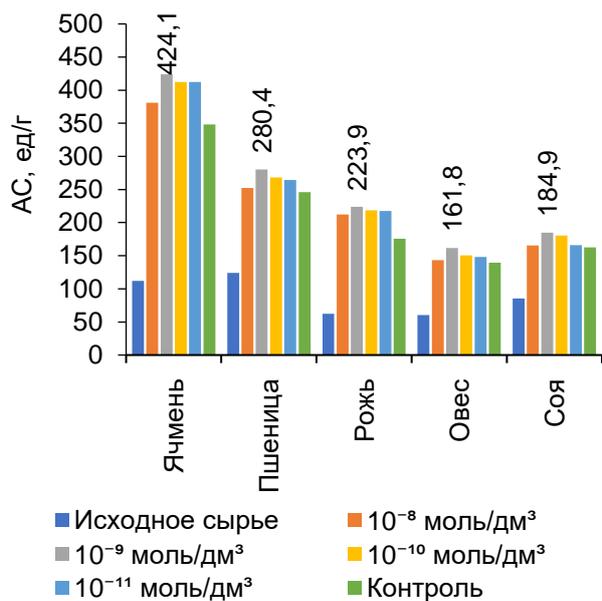


Рисунок 5 – АС сырья при разной концентрации комплекса органических кислот

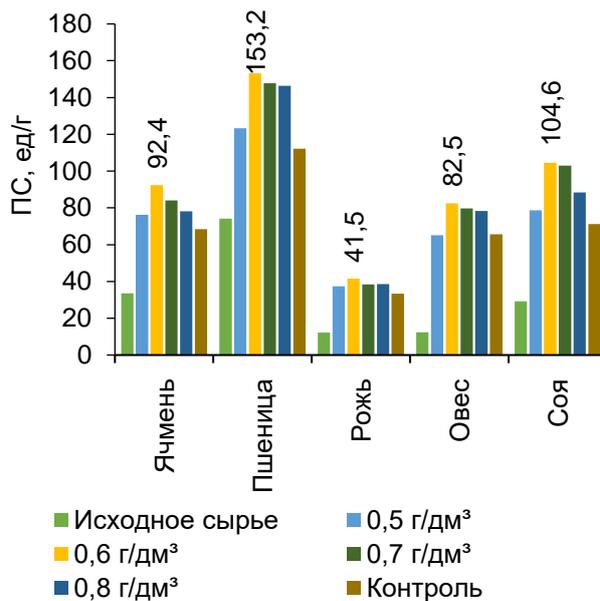


Рисунок 6 – ПС сырья при разной концентрации препарата «Энерген»

По результатам исследования установлены оптимальные дозировки стимулирующих препаратов: комплекса органических кислот – 10<sup>-9</sup> моль/дм<sup>3</sup>; комплексного препарата «Энерген» – 0,6 г/дм<sup>3</sup>; ФП «Бирзим БГ» – 0,4 % и ФП «Целмолаза» – 0,6 %, что составляет 4,8–4,9 ед. по ЦА на 1 г сырья.

Исследования по проращиванию зернового и бобового сырья проводили с применением сначала комплекса органических кислот, далее с препаратом «Энерген», ФП использовали на заключительном этапе данного блока на примере овса и ржи. В ходе эксперимента следили за изменением приоритетной ФА в сырье в конце замачивания и ежедневно в процессе проращивания, физиологическим состоянием проращиваемого солода, изменением содержания белка; в случае соевого солода обязательными контрольными индикаторами были уровень фермента уреазы и трипсингибирующая активность (ТИА).

При получении ячменного и пшеничного солодов с применением комплекса органических кислот отмечена общая положительная тенденция в накоплении АС, ПС (рисунок 8), а также ЦА для ячменного солода. На протяжении 6 сут проращивания ячменного солода АС увеличивалась во всех опытных образцах до 413,2–429,2 ед/г, в то время как в контроле ее

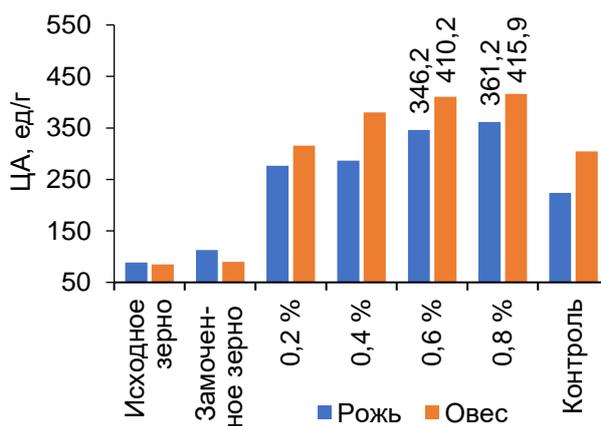


Рисунок 7 – ЦА зерна при разной концентрации ФП «Целмолаза»

максимальное значение составило  $(352,1 \pm 9,7)$  ед/г даже к 7 сут проращивания. ПС свежепроросшего ячменного солода за тот же период составила 90,1–98,8 ед/г в опытных вариантах, что на  $(39,1 \pm 6,4)$  % выше контроля.

К концу проращивания пшеницы ПС опытных вариантов составила 150,4–153,3 ед/г, что в среднем на  $(34,3 \pm 1,3)$  % выше контроля. Активность амилаз в тот же период достигла 281,6–323,2 ед/г, что на  $(14,8 \pm 1,4)$  % выше аналогичного показателя контроля. Изменение содержания азотистых веществ в пшенице в процессе проращивания на примере пшеницы сорта «Алейская» представлено на рисунке 9 и в таблице 1, демонстрирующее снижение нежелательной клейковины и образование большего количества аминокислот.

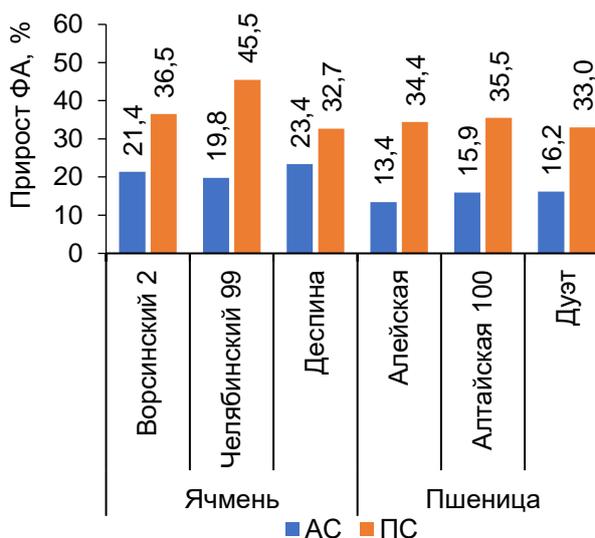


Рисунок 8 – Прирост ФА ячменного и пшеничного солодов к концу проращивания (в сравнении с контролем)

Таблица 1 – Содержание азотистых веществ в пшенице и свежепроросшем пшеничном солоде

Объект	М. д., %		Содержание аминокислот, мг/100 г белка	
	белка	клейковины	заменимых	незаменимых
Исходная пшеница	$14,50 \pm 0,29$	$10,40 \pm 0,20$	$8720 \pm 100$	$3520 \pm 70$
Пшеничный солод	Опыт	$11,40 \pm 0,23$	$10680 \pm 100$	$4610 \pm 70$
	Контроль	$12,70 \pm 0,25$	$8,90 \pm 0,19$	$9810 \pm 100$

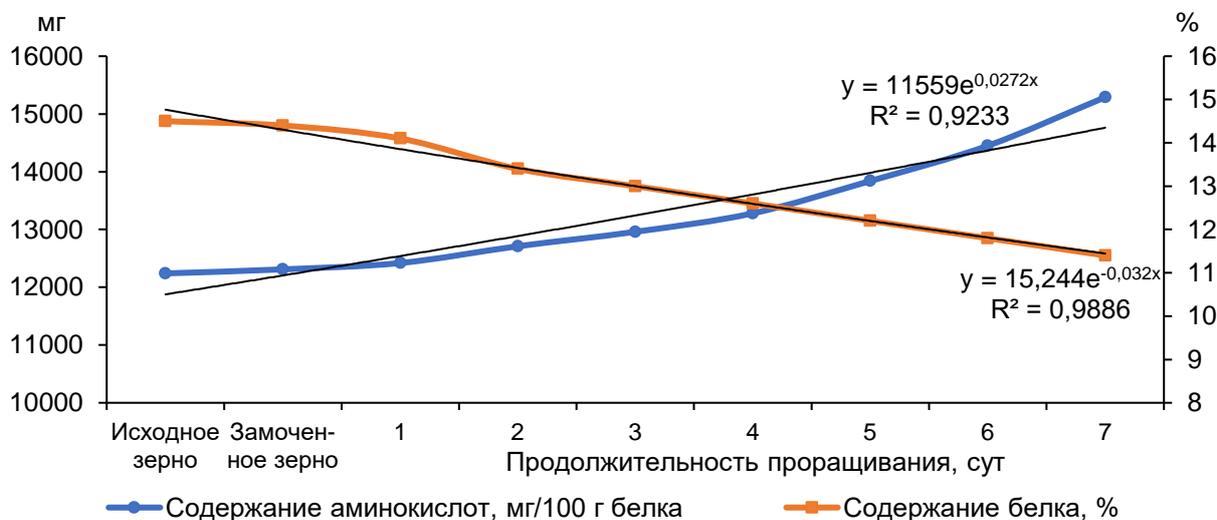


Рисунок 9 – Изменение азотистых веществ в пшенице при проращивании

При получении ржаного и овсяного солодов основной целью было снижение количества некрахмальных полисахаридов, препятствующих приготовлению солодового сула. С этой целью активацию солодоращения проводили с применением стимуляторов различной природы. Эффект стимуляции (рисунок 10), выраженный в накоплении ЦА в готовом солоде, в большей степени проявился при биохимическом воздействии на рожь и овес: в первом случае при использовании ФП «Бирзим БГ», во втором – ФП «Целмолаза».

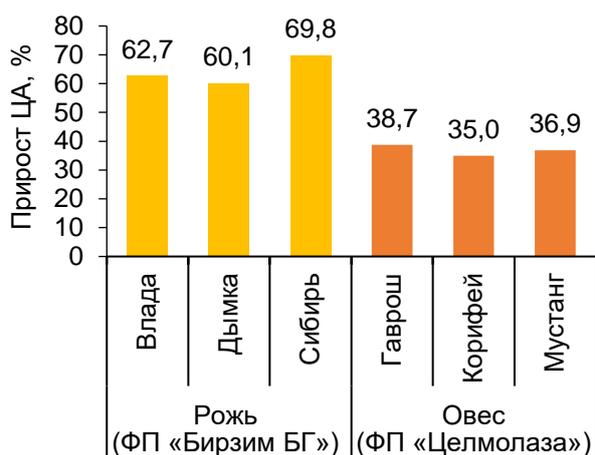


Рисунок 10 – Прирост ЦА ржаного и овсяного солодов к концу проращивания (в сравнении с контролем)

В среднем по сортам прирост ЦА в свежепроросшем ржаном солоде составил  $(65,0 \pm 4,8) \%$ , в овсяном –  $(36,9 \pm 1,8) \%$ .

Кроме того, при проращивании данных солодов наблюдались динамические изменения АС и ПС. Особенно важны эти изменения, касающиеся гидролиза белковых веществ, при производстве овсяного солода.

На рисунке 11 и в таблице 2 приведены данные об изменении азотистых веществ в овсе при проращивании (на примере сорта «Гаврош»).

Таблица 2 – Содержание азотистых веществ в овсе и свежепроросшем овсяном солоде

Объект	М. д. белка, %	Содержание аминокислот, мг/100 г белка	
		заменимых	незаменимых
Исходный овес	$15,10 \pm 0,30$	$7190 \pm 100$	$3340 \pm 70$
Овсяный солод	Опыт	$10\ 640 \pm 100$	$4880 \pm 70$
	Контроль	$8640 \pm 100$	$3960 \pm 70$

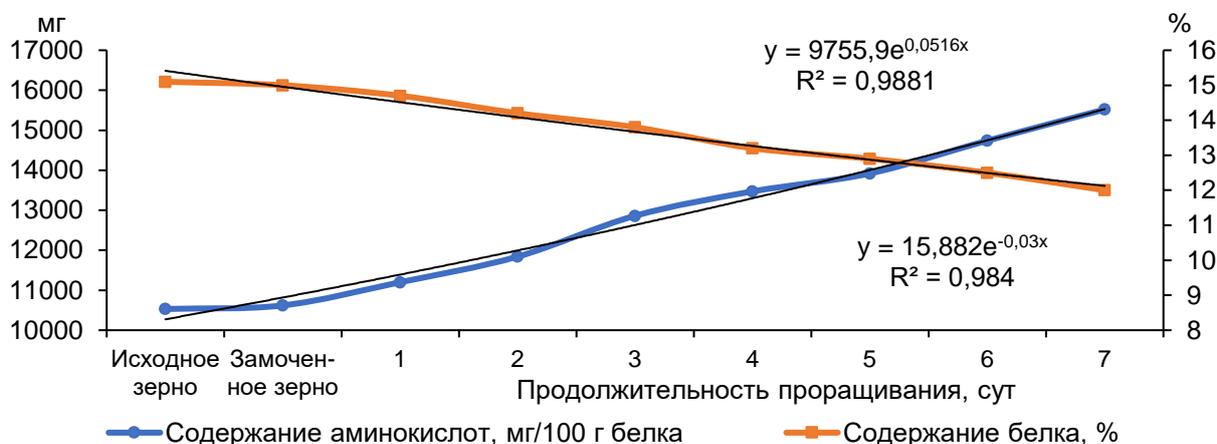


Рисунок 11 – Изменение азотистых веществ в овсе при проращивании

При стимулировании солодоращения углубляется гидролиз белковых веществ, содержание белка к концу проращивания в опытных образцах снижается на  $(17,4 \pm 1,8) \%$ , растет количество аминокислот (при солодоращении овса это ключевой индикатор, ведь овсяный солод используется для повышения БЦ ФЗН). Общее содержание аминокислот в овсяном солоде в среднем по сортам увеличилось на  $(45,5 \pm 4,8) \%$  (в контроле на  $17,9 \%$ ). Кроме этого, стимулирование солодоращения овса улучшило технологические показатели овсяного солода, что позволит ему быть использованным в технологии ФЗН в большем количестве.

При производстве соевого солода использовали комплекс органических кислот и комплексный препарат «Энерген». В обоих случаях стимулирование сои повышало ФА (в среднем по сортам АС увеличилась на  $4,0\text{--}22,3 \%$ , ПС – на  $20,0\text{--}47,1 \%$ ), увеличивало выход аминокислот (рисунок 12), улучшало технологический показатель экстрактивности, а также снижало активность фермента уреазы и ТИА. В большей степени данный эффект наблюдался при использовании в солодоращении комплекса органических кислот.

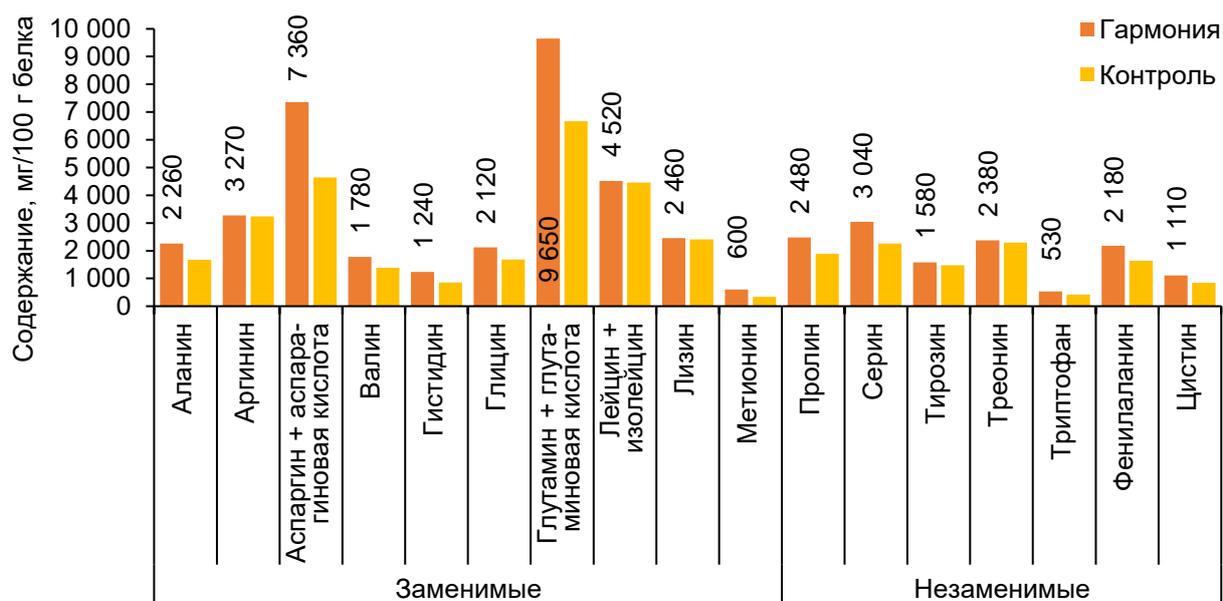


Рисунок 12 – Содержание аминокислот в готовом соевом солоде

Большое значение при проращивании сои уделялось контролю активности фермента уреазы, напрямую коррелирующей с концентрацией антипитательных веществ в сое, и активности ингибитора трипсина (ТИА). Поскольку на активность уреазы и ингибитора трипсина влияют несколько факторов, в том числе проращивание и высокие температуры, данный показатель контролировали на всех этапах солодоращения – от исходной сои до готового сухого солода (рисунки 13 и 14).

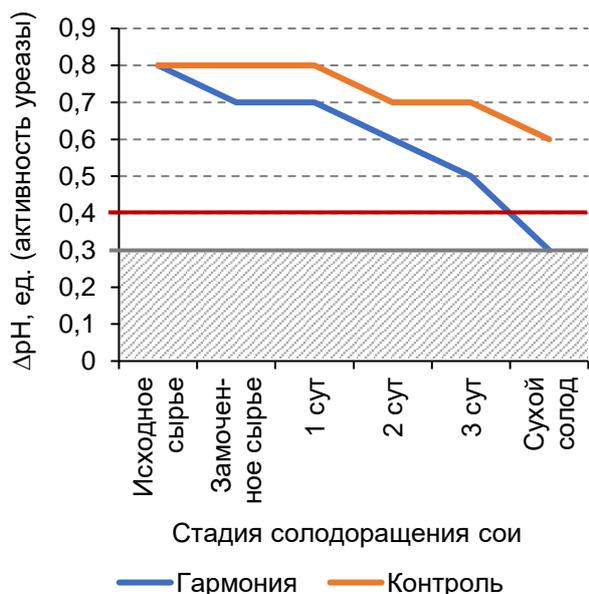


Рисунок 13 – Уровень фермента уреазы при солодоращении сои

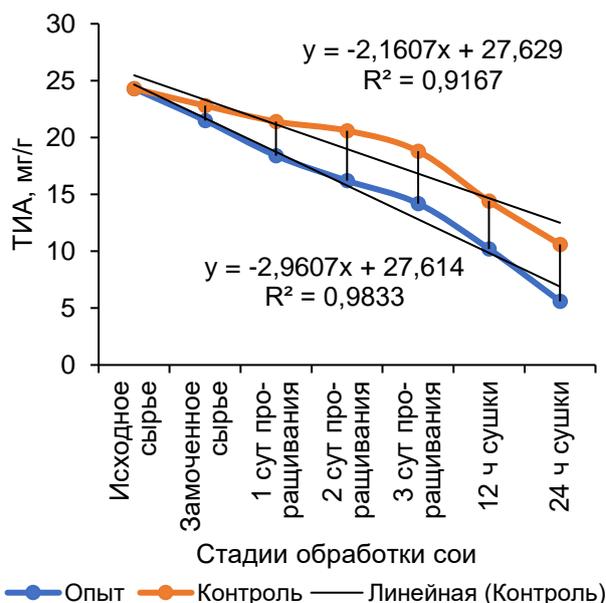


Рисунок 14 – Изменение ТИА сои при солодоращении

После сушки под действием высоких температур показатель активности уреазы снизился до «зеленой зоны», соответствующей допустимому значению для данного критерия. В контрольном варианте даже к концу всего производственного цикла данный показатель не перешел пограничной «красной зоны» (максимальное пороговое значение – 0,4 ед.). Аналогичную тенденцию имеют динамические изменения ТИА.

При использовании в производстве всех видов солодов комплексного препарата «Энерген» отмечены динамические изменения ФА (таблица 3, средние значение по сортам сырья), а также более выраженное снижение белка и повышение количества аминокислот. Данное стимулирование благоприятно сказывалось и на снижении фермента уреазы и ТИА в соевом солоде.

На основе проведенного исследования для производства ФЗН рекомендуется использовать следующее соложеное сырье:

- ячменный солод на основе сорта ячменя «Ворсинский 2», прошедший обработку комплексом органических кислот;
- пшеничный солод на основе сорта пшеницы «Алтайская 100», обработанный комплексным препаратом «Энерген»;
- ржаной неферментированный и ферментированный солоды на основе сорта ржи «Сибирь», обработанной ФП «Бирзим БГ»;

Таблица 3 – Изменения ФА в солоде (преобладание ФА опытных образцов солода над контрольными)

Солод	Δ, %		
	АС	ПС	ЦА
Ячменный	15,8	36,7	16,2
Пшеничный	13,7	56,1	Не определяется
Ржаной	29,7	50,1	27,8
Овсяный	8,9	8,3	10,3
Соевый	9,4	43,5	Не определяется

– овсяный солод на основе сорта овса «Гаврош», стимулированного на стадии замачивания ФП «Целмолаза»;

– соевый солод, полученный на основе сорта сои «Гармония», имеющий низкий уровень фермента уреазы, отличающийся в сравнении с солодами других сортов сои повышенной ферментативной активностью.

Рекомендуемые солода отличаются в первую очередь высоким содержанием аминокислот (таблица 4) за счет проведения стимулирующих действий, что формирует БЦ ресурсного элемента для ФЗН, а также улучшенными качественными и технологическими показателями (таблица 5). При этом лидерами по содержанию аминокислот (общему количеству) выступают соевый, овсяный и пшеничные солоды.

Таблица 4 – Содержание аминокислот в солодах

Солод	Заменимые		Незаменимые		Общее количество аминокислот, мг/100 г белка
	Содержание, мг/100 г белка	Прирост (к контролю), %	Содержание, мг/100 г белка	Прирост (к контролю), %	
Ячменный	8810 ± 100	14,6	3980 ± 70	18,4	12790 ± 170
Пшеничный	11230 ± 100	16,9	4560 ± 70	16,3	15790 ± 170
Ржаной неферментированный	9680 ± 100	22,8	3960 ± 70	18,2	13640 ± 170
Ржаной ферментированный	10080 ± 100	22,0	4560 ± 70	33,7	14640 ± 170
Овсяный	9980 ± 100	16,7	4750 ± 70	22,4	14730 ± 170
Соевый	34110 ± 100	35,2	14450 ± 70	11,7	48560 ± 170

Таким образом, предложенные биотехнологические подходы формирования ресурсного элемента через целенаправленную модификацию обоснованно отобранного зернового/бобового сырья по нутриентному составу, компилирующие подбор технологических режимов и стимулирующих препаратов, позволяют получить нутриентно обеспеченный сырьевой элемент с целеориентированными показателями. При этом алгоритмически выстроенный производственный процесс с элементами стимулирования позволяет сформировать модульный элемент системы формирования ФЗН с минимизацией производственных и экономических рисков. Предложенный механизм при производстве традиционных солодов может сократить продолжительность проращивания, интенсифицировать гидролиз белковых веществ, снизить содержание некрахмальных полисахаридов и антипитательных веществ, исключив технологический риск негативного влияния высокого содержания некрахмальных биополимеров на процесс приготовления сусле для ФЗН и в конечном итоге на качественные показатели напитков. Эти преимущества позволяют использовать в технологии ФЗН не только традиционное сырье, но и ранее не востребованное – овес и сою, с целью повышения БЦ ФЗН.

Таблица 5 – Показатели качества ячменного, пшеничного, ржаного, овсяного и соевого солодов

Солод		М. д., %			Продолжи- тельность осахаривания, мин	ФА, ед/г			Содержание аминокислот, мг/100 г белка	
		влаги	экстракта	белка		АС	ПС	ЦА	незаменимых	заменимых
Ячменный	Опыт	4,40 ± 0,04	83,7 ± 1,7	10,7 ± 0,2	14,0 ± 0,5	389,5 ± 11,7	74,2 ± 1,5	60,1 ± 1,3	3980 ± 70	8810 ± 100
	Контроль	4,30 ± 0,03	80,7 ± 1,6	11,3 ± 0,2	18,0 ± 0,5	302,8 ± 9,4	54,9 ± 1,1	51,4 ± 1,0	3360 ± 70	7690 ± 100
Пшеничный	Опыт	5,30 ± 0,04	83,1 ± 1,6	10,0 ± 0,1	17,0 ± 0,5	305,4 ± 9,2	143,6 ± 4,4	–	4560 ± 70	11230 ± 100
	Контроль	5,30 ± 0,04	80,4 ± 1,4	11,5 ± 0,3	22,0 ± 0,5	263,2 ± 7,9	91,2 ± 2,5	–	3920 ± 70	9610 ± 100
Ржаной нефер- ментированный	Опыт	7,50 ± 0,15	83,2 ± 1,7	11,7 ± 0,3	19,0 ± 0,5	204,1 ± 6,1	41,8 ± 1,2	284,6 ± 8,5	3960 ± 70	9680 ± 100
	Контроль	7,30 ± 0,15	80,5 ± 1,2	12,4 ± 0,4	22,0 ± 0,5	162,9 ± 4,7	28,7 ± 0,4	186,4 ± 5,5	3350 ± 70	7880 ± 100
Ржаной фермен- тированный	Опыт	7,20 ± 0,14	85,5 ± 1,7	10,9 ± 0,2	–	192,4 ± 5,8	39,4 ± 0,9	273,0 ± 8,2	4560 ± 70	10080 ± 100
	Контроль	7,10 ± 0,14	81,4 ± 1,6	11,8 ± 0,3	–	154,3 ± 4,6	26,7 ± 0,3	170,6 ± 5,3	3420 ± 70	8260 ± 100
Овсяный	Опыт	5,10 ± 0,02	71,0 ± 1,4	12,1 ± 0,3	23,0 ± 0,5	131,2 ± 3,9	60,3 ± 1,8	350,2 ± 10,5	4750 ± 70	9980 ± 100
	Контроль	5,40 ± 0,05	53,7 ± 1,1	12,6 ± 0,3	28,0 ± 0,5	127,6 ± 4,0	56,4 ± 1,7	258,6 ± 7,7	3880 ± 70	8540 ± 100
Соевый*	Опыт	4,10 ± 0,06	65,1 ± 1,3	27,5 ± 0,6	–	166,3 ± 5,1	90,3 ± 2,7	–	14450 ± 70	34110 ± 100
	Контроль	4,10 ± 0,05	57,6 ± 1,1	29,0 ± 0,6	–	136,0 ± 4,0	53,4 ± 1,6	–	12940 ± 70	25230 ± 100
<p>Примечание – Дополнительные показатели соевого солода:                      – активность фермента уреазы, ед.: опыт (0,30 ± 0,01) и контроль (0,60 ± 0,01);                      – ТИА, мг/100 г: опыт (5,60 ± 0,11) и контроль (10,60 ± 0,21).</p>										

**Пятый этап** исследования ориентирован на практическое подтверждение функционирования интегрального трехступенчатого модульного подхода формирования ФЗН с алгоритмически выстроенным технологическим процессом (модули формирования суслу для ФЗН, его ферментирования, организации превентивных мероприятий, см. рисунок 2).

Процесс производства ФЗН включает следующие технологические стадии: приготовление суслу; ферментирование суслу; дополнительная обработка ФЗН (рисунок 15).

Формирование ФЗН достигается формализацией каждого модульного элемента системы с учетом релевантных факторов. Нутриентоориентированное формирование суслу для ФЗН предусматривает опциональность технологических приемов:

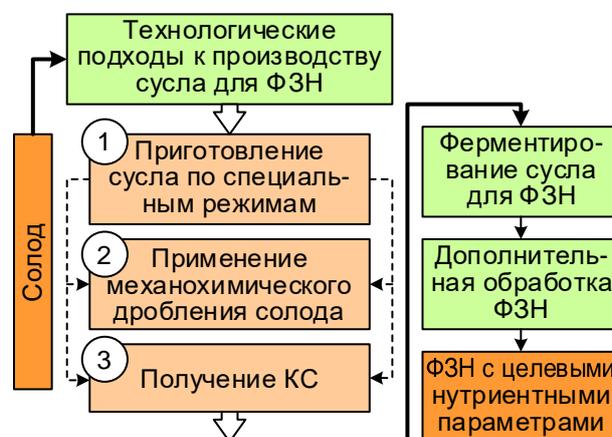


Рисунок 15 – Технологические подходы к производству ФЗН

1) приготовление из полученных солодов суслу по определенным технологическим параметрам и режимам;

2) использование механохимического способа измельчения солодов как физического способа оптимизации приготовления суслу;

3) получение концентрата суслу (КС) на основе суслу, произведенного по первому или второму из названных способов.

Основными технологическими факторами в производстве ФЗН служат:

- соотношение зернопродуктов в заторе;
- температура и продолжительность пауз при затирании;
- измельчение солода с целью максимального выхода экстрактивных веществ;

- вид используемых сбраживающих микроорганизмов и норма их внесения.

1. *Соотношение зернопродуктов в заторе.* Все образцы модельных заторов данного эксперимента готовили классическим способом. Измельченное сырье смешивали в определенной пропорции (добавляя по отдельности к ячменному солоду пшеничный, овсяный и соевый от 10 % до 100 %), добавляли воду (гидромодуль 1:5), последовательно нагревали до 52; 63 и 70 °С и выдерживали 30 мин на каждом этапе, затем при температуре 72 °С доводили до полноты осахаривания, далее до 78 °С и отправляли на фильтрацию, после чего суслу кипятили 30 мин и охлаждали.

При определении оптимального соотношения зернопродуктов учитывались физико-химические показатели сусла (м. д. СВ, содержание мальтозы, содержание аминного азота – рисунок 16), а также органолептические и технологические характеристики. Полученные результаты позволили рекомендовать следующие нормы внесения сырья:

– пшеничный солод до 50 % (при этом количество аминного азота увеличивается на 16,2 % в сравнении с ячменным сусликом);

– овсяный солод на 20–40 % (содержание аминного азота увеличивается на 24,1 % в сравнении с ячменным сусликом);

– соевый солод на 30–40 % (количество аминокислотной фракции увеличивается в 1,5 раза в сравнении с ячменным сусликом).

2. Основными технологическими факторами, влияющими на качественные показатели сусла, являются температура и продолжительность температурных пауз на стадии затирания, а также измельчение сырья перед приготовлением сусла.

Температурные режимы затирания подбирали с учетом оптимальных условий для действия всех участвующих в гидролитических процессах ферментов. Для протеолитических ферментов при затирании классическими технологиями предусмотрена температурная пауза 52 °С, позволяющая за установленный технологией период провести гидролиз белков. С целью проведения более глубокого распада высоко- и среднемoleкулярных азотсодержащих фракций, особенно в случае использования высокобелкового сырья, необходимо корректировать технологические параметры стадии затирания – температурный режим и продолжительность пауз.

Для проведения эксперимента отобраны три варианта сусла для ФЗН:

– вариант 1 – ячменно-пшеничное суслик (соотношение солодов 50:50);

– вариант 2 – ячменно-овсяное суслик (60:40);

– вариант 3 – ячменно-соевое суслик (60:40).

Затирание на стадии белковой паузы проводили в диапазоне температур 50–55 °С с шагом 1 °С, продолжительность – 30–60 мин с шагом 10 мин. Выход аминного азота на примере варианта 3 представлен на рисунке 17.

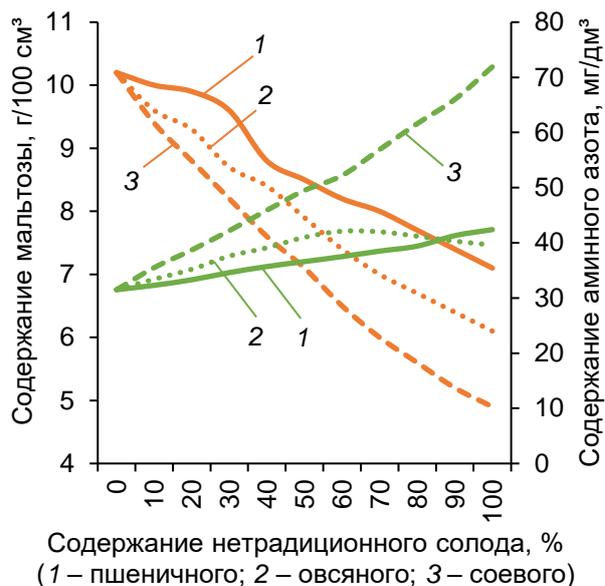


Рисунок 16 – Содержание мальтозы и аминного азота в сусле для ФЗН

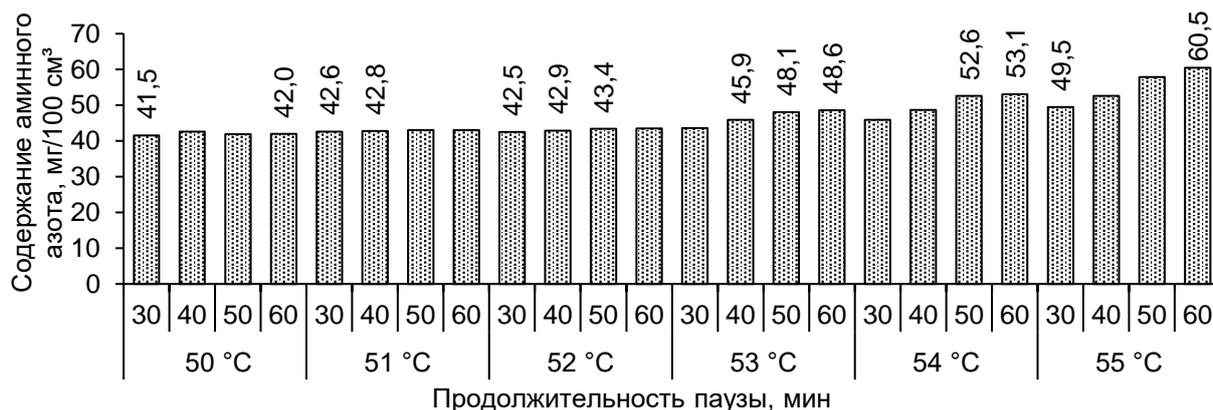


Рисунок 17 – Выход аминокислот азота в ячменно-соевом сусле

При добавлении пшеничного солода отмечено, что наибольший выход аминокислот наблюдается при температурах 52–53 °C и продолжительности данной паузы не менее 50 мин. Это позволяет увеличить выход аминокислот на 16,4 % в сравнении с классическим подходом ведения затирания по белковой паузе в 30 мин при 52 °C.

При использовании овсяного солода в рецептуре высокий выход аминокислот азота происходит уже при 51 °C. При этом также требуется большая продолжительность. Это приводит к накоплению аминокислот азота в сусле на уровне 44,1 и 44,2 мг/дм³ при 50 и 60 мин соответственно. В данном случае можно рекомендовать следующие технологические параметры: температура 51 °C, продолжительность 50 мин.

При введении в технологию соевого солода необходимы следующие корректировки: температуру повысить до 55 °C, продолжительность – до 60 мин. При этом наблюдается максимальный выход аминокислот азота в сусло – 60,5 мг/дм³, что выше на 42,4 % в сравнении с аналогичным показателем при проведении затирания по классическим технологиям.

Режимы затирания в зависимости от вида используемого солода представлены на рисунке 18.

3. Дробление зернового сырья является важной подготовительной стадией в производстве напитков. От состава помола, степени измельчения зерна зависит выход экстрактивных веществ, качественный и количественный состав сусла, скорость и качество фильтрации затора. При использовании трудно-растворимого сырья, в том числе с повышенным содержанием

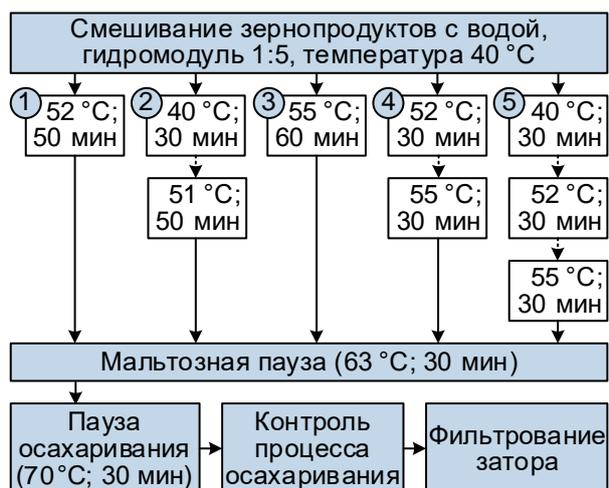


Рисунок 18 – Режимы затирания сусла для ФЗН:

сусло с добавлением пшеничного (1), овсяного (2) и соевого (3) солода; многокомпонентное сусло без (4) и с добавлением овсяного солода (5)

некрахмальных полисахаридов, классические установки по помолу зерна приведут к снижению экстракта и, следовательно, снижению выхода готового напитка. В предлагаемой технологии ФЗН к такому сырью относятся ржаной и овсяный солода. В связи с этим предлагается провести более глубокое измельчение данного сырья с целью увеличения биодоступности технологически и функционально значимых веществ. Для этого проведена механохимическая обработка ржаного неферментированного и овсяного солодов, не подвергшихся стимулированию на стадии солодоращения. На рисунке 20 представлены результаты сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) измельченного механохимическим способом зерна ржи с размерами частиц от 25 до 500 мкм.



Рисунок 19 – Результаты СЭМ измельченного механохимическим способом зерна ржи (1 ед. длины соответствует 100 мкм)

Оценку эффективности механохимического дробления проводили по качественным показателям сусле, приготовленного с использованием дробленых солодов, сравнивая показатели (м. д. СВ, содержание мальтозы и аминного азота) с аналогичными в сусле, полученном из сырья классического дробления (рисунок 21).

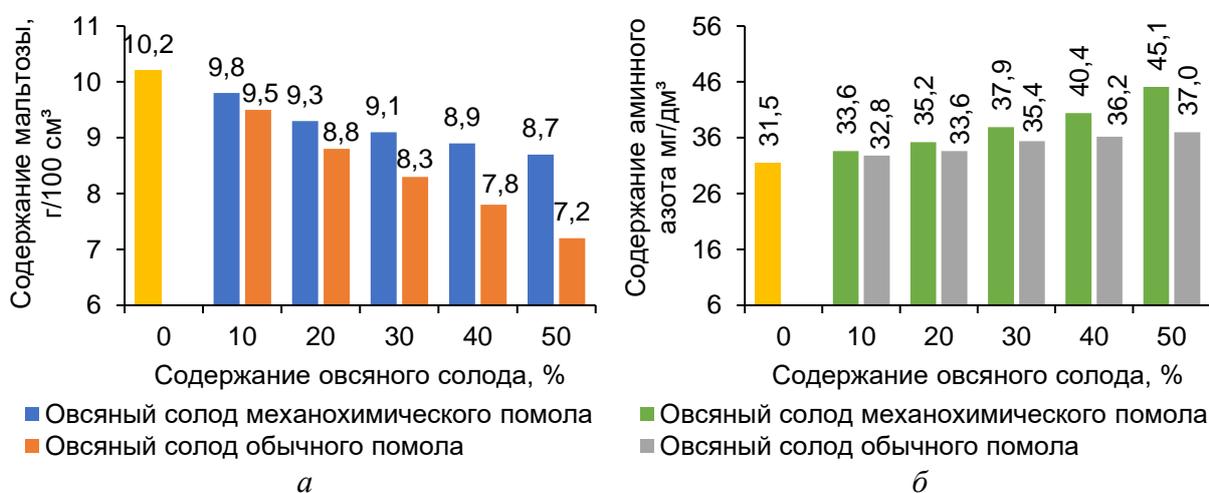


Рисунок 20 – Содержание мальтозы (а) и аминного азота (б) в ячменно-овсяном сусле

В ходе исследования отмечено улучшение качественных показателей сусла: увеличивается экстрактивность на 1,2–1,6 % (в абсолютном выражении), повышается содержание мальтозы на 17,6–20,8 % и аминного азота на 21,9–31,6 %, что свидетельствует о целесообразности использования механохимического дробления для интенсификации процесса приготовления сусла для ФЗН.

*Получение концентрата сусла (КС).* С целью сохранения приобретенных суслем свойств для оптимизации производства ФЗН предлагается способ получения КС. Согласно предлагаемой технологии фильтрованное сусло опаривается на упаривание в вакуум-выпарную установку с последующей термообработкой КС в реакторе с обогревом при температуре 110–112 °С не более 20 мин с целью сохранения аминокислот.

В таблице 6 приведены приоритетные показатели КС и получаемого после разбавления из него сусла, на основании которых можно рекомендовать использовать концентрированное сусло для ферментирования с предварительным разведением, что позволит снизить возможные технологические или агротехнические риски.

Таблица 6 – Показатели качества сусла и КС (ячменно-соевое)

Показатель	КС	Сусло после разбавления КС	Сусло исходное (до упаривания)
М. д. сухих веществ, %	74,10 ± 1,49	8,00 ± 0,10	11,30 ± 0,20
Кислотность, к. ед.	16,10 ± 0,33	1,75 ± 0,02	1,82 ± 0,02
Содержание аминного азота, мг/дм <sup>3</sup>	34,20 ± 0,6*	29,10 ± 0,8	45,9 ± 1,4
Примечание – * мг/100 г.			

4. *Влияние вида используемых сбраживающих микроорганизмов и их нормы внесения при ферментировании сусла.* Одной из задач диссертационной работы являлась организация процесса ферментирования сусла для ФЗН с проектированием нутриентного состава, в том числе с повышенным содержанием витаминов группы В и вторичных продуктов брожения (органических кислот), с применением и пивных, и хлебопекарных дрожжей для производства ФЗН. На данном этапе исследований предусмотрен мониторинг процесса ферментации по технологическим показателям сусла и физиологическому состоянию сбраживающих микроорганизмов, изменяющихся в зависимости от установленных режимов процесса.

Релевантными факторами модульного блока ферментирования сусла для ФЗН определены: штамм сбраживающих микроорганизмов, норма их внесения, продолжительность ферментирования. Константными параметрами процесса установлены температура ферментирования (29,0 ± 1,0) °С и начальная экстрактивность сусла (8,0 ± 0,1) %.

В качестве сбраживающей микрокультуры отобраны следующие штаммы дрожжей (вид *Saccharomyces*): сухие хлебопекарные дрожжи «Fer-

«Nevada», «Saf-instant», «Saf-levur», «Hasmaya» и «Angel»; сухие пивные дрожжи «Saflager S-23» и «Saflager W-34/70». Образцами суслу являлись: ячменно-пшеничное (50:50), ячменно-овсяное (60:40), ячменно-соевое (60:40). Контролем служил классический вариант суслу, приготовленный на основе ячменного и ржаного солодов (50:50).

При классической норме введения дрожжей ( $16 \text{ млн кл/см}^3$ ) наиболее активно процесс ферментирования протекал при использовании сухих хлебопекарных дрожжей штаммов «Nevada» и «Angel» и пивных дрожжей «Saflager S-23» и «Saflager W-34/70» (рисунок 21). В этих же случаях наблюдалось типичное размножение микроорганизмов и увеличение биомассы дрожжей. Максимальное содержание клеток приходилось на 14–16 ч процесса брожения (рисунок 22). В связи с чем данные штаммы микроорганизмов рекомендованы к производству ФЗН.

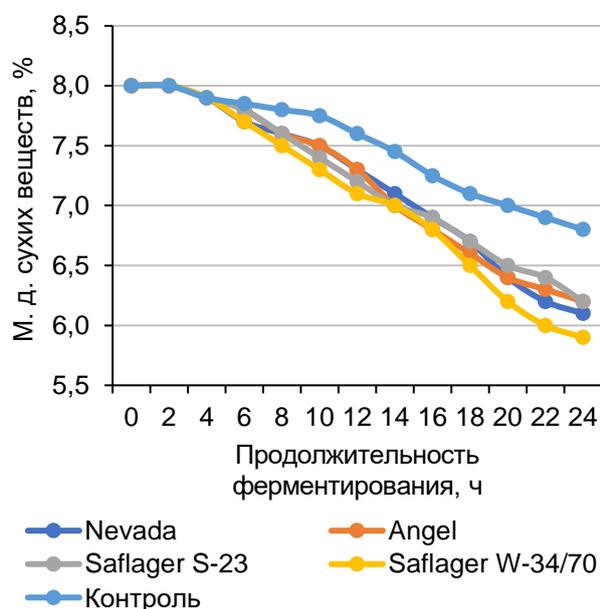


Рисунок 21 – Ферментирование суслу разными дрожжами

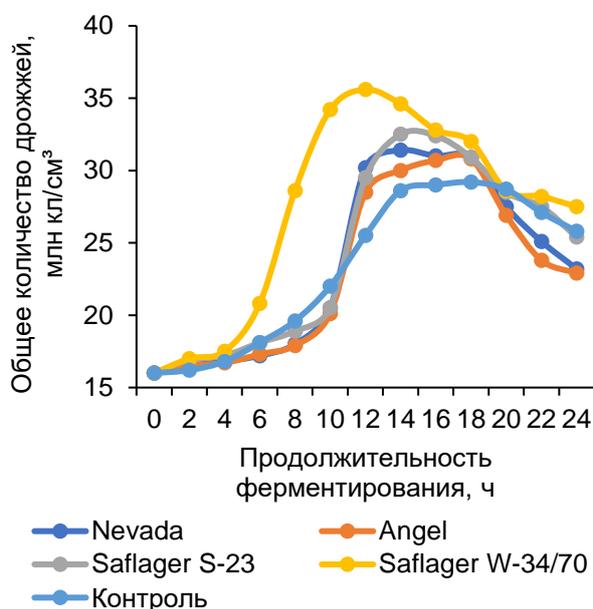


Рисунок 22 – Накопление дрожжевой биомассы при ферментировании суслу

Проведенные исследования по увеличению нормы внесения микроорганизмов при брожении (рисунки 23 и 24) показали, что при дозировке дрожжей до  $20 \text{ млн кл/см}^3$  продолжительность процесса сокращается до 18–20 ч, при  $25 \text{ млн кл/см}^3$  – до 16–18 ч, а физиологические процессы, происходящие с дрожжей биомассой ускоряются, но при этом остаются типичными. При этом было отмечено, что при максимальной норме внесения дрожжей в сброженных образцах суслу появлялся выраженный дрожжевой запах, наблюдалось плохое осветление напитка, дрожжи в большей степени оставались во взвешенном состоянии по всему объему сброженных образцов. Это может ухудшить качественные показатели готовых ФЗН, снизить их биологическую стойкость. На основании общей оценки процесса фер-

ментирования можно рекомендовать вносить дрожжи из расчета 20 млн кл/см<sup>3</sup> сусла.

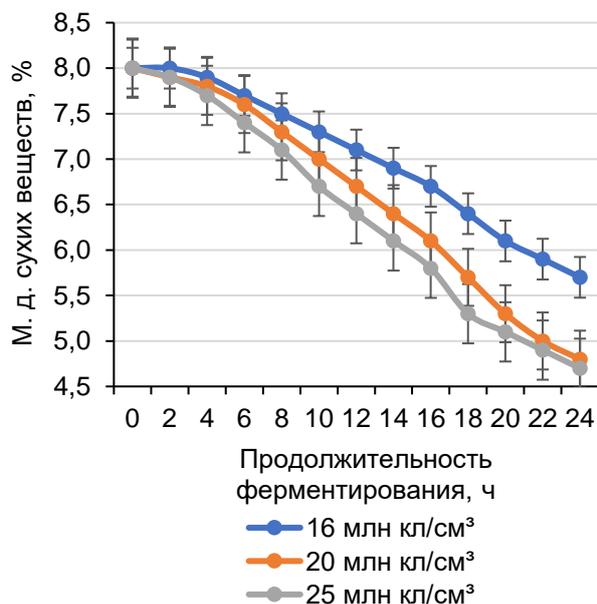


Рисунок 23 – Динамика ферментирования сула пивными дрожжами «Saflager W-34/70»

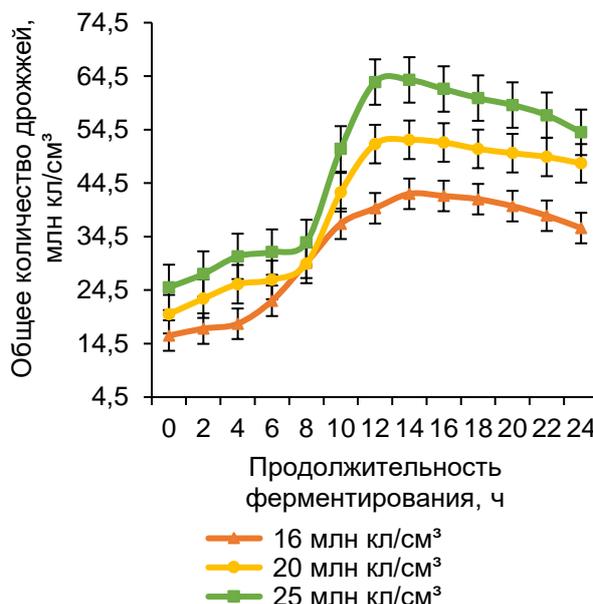


Рисунок 24 – Накопление дрожжевой биомассы при ферментировании сула дрожжами «Saflager W-34/70»

*Технология ФЗН* представляла собой алгоритмически выстроенную классическую технологическую линию производства аналогичных ферментированных напитков, инкорпорирующую систему выстроенных технологических параметров отдельных модульных элементов системы.

Рецептурное моделирование взаимозаменяемых ФЗН проводилось с целеориентированным формированием качественных и нутрициологических свойств напитков. В ходе эксперимента опробовано 36 вариантов рецептур ФЗН (с использованием и без использования ржаного солода): группа 1 – с добавлением пшеничного солода; группа 2 – с добавлением овсяного солода; группа 3 – с добавлением соевого солода; группа 4 – с добавлением не менее четырех видов солодов (многокомпонентные ФЗН).

Выбор оптимальных рецептурных решений основывался на совокупной оценке сформированности модульного элемента системы (получение сула для ФЗН) по качественным и нутрициологическим показателям сула при постоянном контроле процесса его приготовления, возможного отклонения в связи с вариативностью соотношения рецептурных элементов.

В результате рецептурного моделирования отобраны семь перспективных вариантов рецептур ФЗН (таблица 7). Кроме этого, опробованы варианты рецептур ФЗН на основе нетрадиционных солодов без добавления ржаного солода. На основании проведенных исследований можно рекомендовать к производству ФЗН три из них.

Таблица 7 – Рецептуры ФЗН

ФЗН	Содержание солода и сахара в зерновой смеси, %						
	ячменный	ржаной неферменти- рованный	ржаной ферменти- рованный	пшеничный	овсяный	соевый	сахар
1-я группа – ФЗН с добавлением ржаного солода							
«Пшеничный»	28	16	12	24	–	–	20
«Овсяный»	28	16	12	–	24	–	20
«Соевый»	24	12	12	–	–	32	20
«Пшенично-овсяный»	16	12	12	20	20	–	20
«Пшенично-соевый»	16	12	12	20	–	20	20
«Овсяно-соевый»	16	12	12	–	20	20	20
«Многокомпонентный»	16	12	12	8	8	24	20
2-я группа – ФЗН без добавления ржаного солода							
«Пшенично-овсяный светлый»	–	–	–	50	50	–	–
«Пшенично-соевый светлый»	–	–	–	50	–	50	–
«Многокомпонентный светлый»	–	–	–	40	30	30	–

В результате ферментирования в образцах ФЗН кроме основных продуктов ферментации – спирта и углекислого газа, накапливались вторичные и побочные продукты брожения (рисунки 25 и 26).

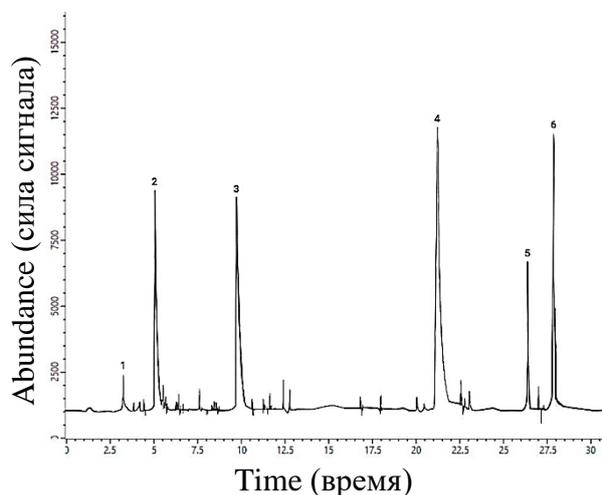


Рисунок 25 – Вторичные и побочные продукты ферментирования суслу с добавлением ржаного солода:

- 1 – ацетальдегид (следы);  
 2 – изоамиловый спирт (44,1–50,1 мг/дм<sup>3</sup>);  
 3 – метилацетат (10,0–10,4 мг/дм<sup>3</sup>);  
 4 – изоамилацетат (11,9–12,5 мг/дм<sup>3</sup>);  
 5 – пропиловый спирт (12,6–13,4 мг/дм<sup>3</sup>);  
 6 – изобутиловый спирт (20,2–22,9 мг/дм<sup>3</sup>)

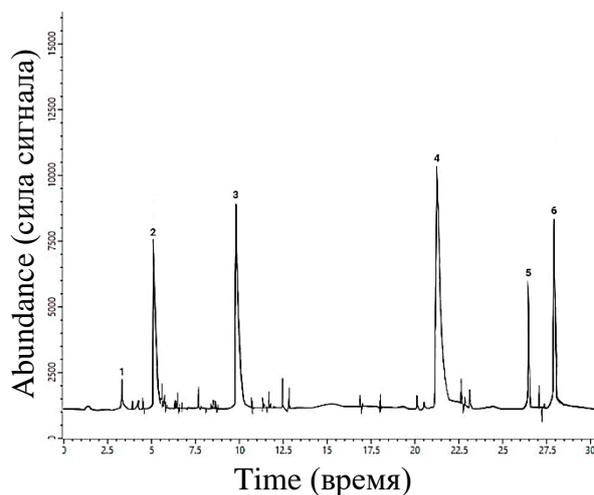


Рисунок 26 – Вторичные и побочные продукты ферментирования суслу без добавления ржаного солода:

- 1 – ацетальдегид (следы);  
 2 – изоамиловый спирт (39,2–40,6 мг/дм<sup>3</sup>);  
 3 – метилацетат (9,6–10,2 мг/дм<sup>3</sup>);  
 4 – изоамилацетат (11,4–11,6 мг/дм<sup>3</sup>);  
 5 – пропиловый спирт (11,4–11,6 мг/дм<sup>3</sup>);  
 6 – изобутиловый спирт (17,5–18,2 мг/дм<sup>3</sup>)

После ферментирования, окончанием которого служил индикатор содержания СВ (согласно предлагаемой технологии оно должно снижаться на 2,0–2,2 %), сброженные образцы охлаждали в течение 10–12 ч при 4–6 °С, отделяли дрожжевой осадок фильтрованием. Для обеспечения устойчивости сформированной пищевой системы ФЗН и пролонгирования сроков годности напитков за счет повышения их биологической стойкости рекомендуется использовать превентивные технологии – дополнительную фильтрацию, в том числе обеспложивающую, или пастеризацию.

Проведена идентификация содержащихся в напитках органических кислот (рисунок 27). Для установления идентификационного признака, подтверждающего факт ферментирования напитка, проведен сравнительный анализ органических кислот в ФЗН и безалкогольном напитке на зерновой основе, произведенном без брожения (для примера – напиток «Русский», приобретенный в торговом предприятии) (рисунок 28).

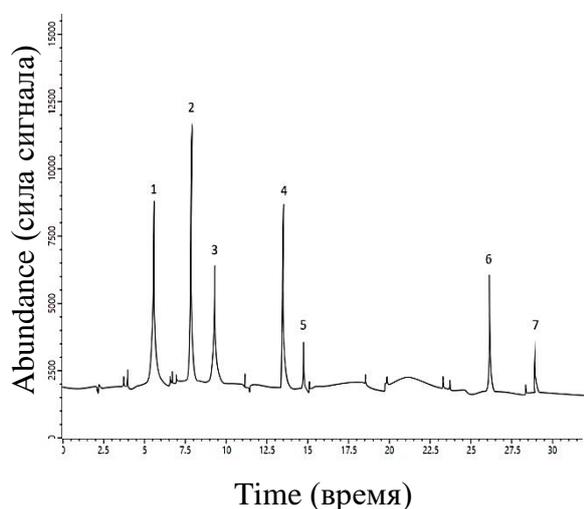


Рисунок 27 – Состав органических кислот в ФЗН:

1 – лимонная; 2 – яблочная;  
3 – уксусная; 4 – молочная

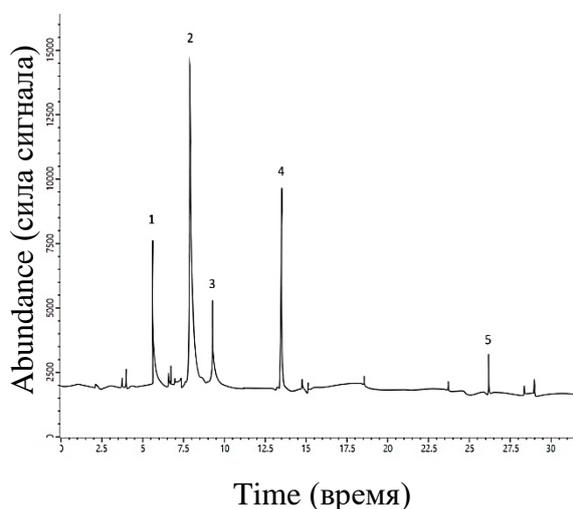


Рисунок 28 – Состав органических кислот в безалкогольном напитке:

1 – лимонная; 2 – яблочная; 3 – уксусная;  
4 – молочная; 5 – янтарная

Представленные данные позволили установить идентификационный признак ФЗН – наличие в больших количествах янтарной кислоты (300,12–349,24 мг/дм<sup>3</sup>), образующейся в результате ферментирования. В напитке сравнения данная кислота содержится в концентрации (8,45 ± 2,47) мг/дм<sup>3</sup>. В то же время в безалкогольном напитке, имитирующем квас, присутствуют в высоком содержании яблочная и лимонная кислоты, вероятно, внесенные в напиток в соответствии с рецептурой.

Для обеспечения устойчивости пищевой системы ФЗН предусмотрен управленческий контроль производством. Поскольку ФЗН планируется производить по алгоритмически выстроенным производственным стадиям классической технологии, то производственный контроль возможно проводить по принятому на предприятии плану ХАССП с небольшой корректи-

ровкой – введением дополнительных критических контрольных точек (ККТ): входной контроль сои и контроль готовой продукции соевого солода по контролю за уровнем антипитательных веществ.

Таким образом, предложенная функциональная концепция формирования ФЗН по гибричному типу, с одной стороны, организует функционирование модульных элементов системы за счет согласованного управления взаимосвязанными технологическими параметрами, исключающего технологические риски, а с другой – алгоритмически выстроенный подход к производственному процессу, позволяющему имплементировать предложенную модель в действующие предприятия пивобезалкогольной отрасли, снижающую социальные, производственные и экономические риски, способствует производству функциональной продукции в виде ФЗН с целевыми нутриентным составом, поддерживающей политико-экономические действия государства в стратегическом направлении по импортозамещению.

В **шестой части** работы проведены оценка эффективности предлагаемой концепции формирования пищевой системы ФЗН по приобретенным в результате производственного цикла показателям качества и безопасности напитков, выполнены расчеты пищевой, биологической и энергетической ценности, себестоимости ФЗН, определены сроки их годности.

*Оценка качества ФЗН по органолептическим свойствам.* Дегустацию напитков проводили по разработанной 5-балльной шкале. Результаты дегустационной оценки ФЗН представлены в таблице 8 ( $X_{1cp}$  – комплексно внешний вид, цвет, прозрачность;  $X_{2cp}$  – аромат;  $X_{3cp}$  – вкус;  $X_{4cp}$  – степень насыщенности углекислым газом), демонстрирующие уровень «хорошего качества» напитков «Овсяно-соевый», «Пшенично-соевый светлый» и «Многокомпонентный светлый», всех остальных ФЗН – уровень «отличного качества».

Таблица 8 – Балльная оценка органолептических показателей ФЗН

ФЗН	Среднее значение элемента шкалы ( $X_{cp1}$ – $X_{cp4}$ ), балл, и коэффициент весомости данного элемента								Сумма баллов
	$X_{1cp}$	$k_1$	$X_{2cp}$	$k_2$	$X_{3cp}$	$k_3$	$X_{4cp}$	$k_4$	
1-я группа (с добавлением ржаного солода)									
«Пшеничный»	4,7	0,20	4,9	0,29	4,9	0,36	4,6	0,15	4,81
«Овсяный»	4,7		4,8		4,9		4,6		4,78
«Соевый»	4,8		4,8		4,8		4,5		4,76
«Пшенично-овсяный»	4,7		4,8		4,9		4,6		4,78
«Пшенично-соевый»	4,7		4,8		4,9		4,6		4,78
«Овсяно-соевый»	4,7		4,6		4,7		4,6		4,65
«Многокомпонентный»	4,7		4,7		4,8		4,6		4,75
2-я группа (без добавления ржаного солода)									
«Пшенично-овсяный светлый»	4,7	0,20	4,7	0,29	4,8	0,36	4,7	0,15	4,74
«Пшенично-соевый светлый»	4,7		4,7		4,6		4,6		4,62
«Многокомпонентный светлый»	4,6		4,7		4,7		4,6		4,66

*Оценка качества ФЗН по показателям, регламентируемым основными нормативными документами.* Оценку качества ФЗН по показателям качества и безопасности проводили по требованиям технического регламента и стандарта. Установлено, что все разработанные напитки полностью отвечают данному требованию технического регламента по микробиологическим и гигиеническим показателям безопасности, предъявляемым к напиткам брожения фильтрованным непастеризованным, БГКМ и патогенные микроорганизмы не обнаружены.

Результаты оценки готовых ФЗН до реализации и хранения по показателям качества, предусмотренным стандартом, продемонстрировали валидность всех показателей: м. д. СВ 5,7–6,2 %, кислотность 2,7–4,0 к. ед., объемная доля этилового спирта 0,80–1,15 %.

Установлены сроки годности ФЗН (фильтрованные непастеризованные) по показателям БГКП и кислотности, которые составляют 5–7 сут при температуре 2–4 °С. В течение этого периода БГКП не обнаружены, кислотность находится в пределах нормы, не выше 7 к. ед. (рисунок 29).

С целью повышения срока годности рекомендуется проводить дополнительно обесплесковывающую фильтрацию или пастеризацию напитков при температуре 60–70 °С до достижения степени пастеризации 23–25 ПЕ. В первом случае срок годности можно увеличить до 30 сут, во втором – до 90 сут.

*Расчет биологической и пищевой ценности ФЗН по содержанию эссенциальных элементов.* Оценку нутриентного состава ФЗН проводили по содержанию: 1) аминокислот, определяющих БЦ напитков; 2) органических кислот и витаминов группы В, демонстрирующих ПЦ ФЗН. Результаты эмпирических исследований представлены в таблице 9. С целью экспонирования повышения ПЦ и БЦ разработанных ФЗН проведен сравнительный анализ оцениваемых критериев с аналогичными показателями, определенных в традиционном квасе и безалкогольном напитке на зерновой основе, приобретенных в торговой сети г. Новосибирска, изготовленных на основе зернового сырья.

Полученные результаты позволяют констатировать факт присутствия элементов БЦ и ПЦ в разработанных ФЗН в большем количестве в сравнении с традиционным квасом, приобретенным в торговом предприятии.

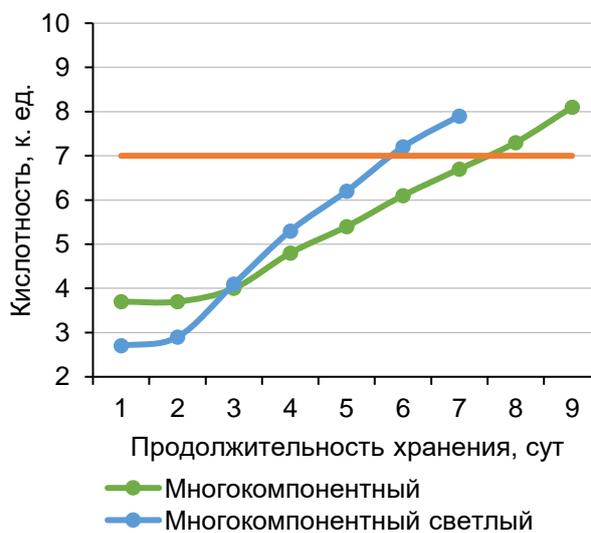


Рисунок 29 – Накопление кислотности в ФЗН в процессе хранения

Таблица 9 – Показатели пищевой и биологической ценности ФЗН, кваса и безалкогольного напитка на зерновой основе

Напиток	Органические кислоты, мг/дм <sup>3</sup>							Витамины группы В (суммарно В <sub>1</sub> , В <sub>2</sub> , В <sub>5</sub> , В <sub>6</sub> ), мг/100 см <sup>3</sup>	Общее количество аминокислот, мг/100 см <sup>3</sup>
	щавелевая	яблочная	лимонная	муравьиная	янтарная	молочная	уксусная		
1-я группа – ФЗН с добавлением ржаного солода (сброженные пивными дрожжами «SaflagerW-34/70»)									
«Пшеничный»	8,11 ± 0,51	110,84 ± 5,82	62,12 ± 5,89	7,18 ± 1,23	312,41 ± 28,56	48,16 ± 5,89	28,64 ± 2,16	0,91 ± 0,09	31,21 ± 0,35
«Овсяный»	7,95 ± 0,69	108,14 ± 6,32	49,18 ± 6,29	8,14 ± 2,01	324,17 ± 23,47	46,79 ± 4,97	30,14 ± 1,46	0,95 ± 0,07	33,15 ± 0,49
«Соевый»	7,63 ± 0,48	112,26 ± 5,58	56,40 ± 4,12	6,89 ± 1,56	349,24 ± 25,11	43,16 ± 5,43	26,19 ± 1,58	1,24 ± 0,12	40,18 ± 0,44
«Пшенично-овсяный»	8,01 ± 0,86	112,36 ± 6,96	60,18 ± 6,18	7,24 ± 1,28	320,46 ± 18,45	49,61 ± 4,18	29,57 ± 2,34	0,84 ± 0,06	33,24 ± 0,41
«Пшенично-соевый»	7,89 ± 1,12	106,58 ± 7,71	56,48 ± 5,79	7,59 ± 1,54	334,78 ± 24,13	41,96 ± 5,94	25,16 ± 1,59	1,18 ± 0,11	35,91 ± 0,45
«Овсяно-соевый»	7,86 ± 0,67	107,69 ± 6,89	51,14 ± 4,67	8,12 ± 1,36	339,17 ± 26,18	39,16 ± 3,49	26,13 ± 2,10	1,09 ± 0,10	37,29 ± 0,44
«Многокомпонентный»	8,16 ± 1,06	112,60 ± 9,12	63,48 ± 8,56	7,54 ± 2,12	318,94 ± 21,69	49,51 ± 4,13	28,26 ± 2,84	1,02 ± 0,09	33,04 ± 0,38
2-я группа – ФЗН без добавления ржаного солода (сброженные хлебопекарными дрожжами «Nevada»)									
«Пшенично-овсяный светлый»	7,85 ± 0,64	110,23 ± 6,14	54,12 ± 5,46	7,56 ± 2,14	300,12 ± 28,46	45,78 ± 5,14	29,16 ± 1,46	0,42 ± 0,05	40,44 ± 0,38
«Пшенично-соевый светлый»	7,69 ± 0,45	105,64 ± 5,78	49,74 ± 5,12	6,89 ± 2,56	314,64 ± 26,17	42,14 ± 6,01	24,78 ± 2,01	0,65 ± 0,07	45,57 ± 0,60
«Многокомпонентный светлый»	8,01 ± 1,14	114,91 ± 7,23	51,69 ± 6,01	7,16 ± 2,41	322,11 ± 24,57	46,18 ± 5,12	26,89 ± 2,14	0,54 ± 0,05	51,95 ± 0,30
Напитки сравнения									
Традиционный квас «Русский узор», сброженный хлебопекарными дрожжами	4,12 ± 0,45	47,28 ± 4,46	30,12 ± 5,14	19,48 ± 4,21	314,14 ± 18,21	24,14 ± 3,10	25,41 ± 2,31	0,53 ± 0,05	18,51 ± 0,28
Безалкогольный напиток на зерновой основе «Русский»	НПО*	287,46 ± 46,78	348,18 ± 64,74	НПО	8,45 ± 2,47	64,79 ± 24,86	16,14 ± 6,47	НПО	НПО
Примечание – НПО – ниже предела определения.									

При этом наибольшее количество аминокислот присутствует в ФЗН, приготовленных с использованием соевого солода, витаминов групп В – в напитках, сброженных пивными дрожжами, в среднем содержание витаминов группы В в таких напитках больше в 1,9 раза, чем в напитках, при ферментировании суслу которых использовали сухие хлебопекарные дрожжи. Из органических кислот в ФЗН в больших количествах накапливаются янтарная и яблочная кислоты, в напитке сравнения (зерновой безалкогольный напиток) содержание янтарной кислоты меньше в среднем в 35–40 раз. В традиционном квасе, приобретенном в качестве контроля, также отмечается присутствие аналогичных ФЗН органических кислот, однако, некоторых из них в гораздо меньшем количестве.

Таким образом, проведенный расчет ПЦ и БЦ подтверждает эффективность предлагаемого модульно-алгоритмического подхода к формированию ФЗН с целевым нутриентным составом.

В завершение этапа проведены расчеты энергетической ценности и себестоимости полученных ФЗН. При этом себестоимость за единицу продукции составила, р./дм<sup>3</sup>: для 1-й группы с добавлением ржаного солода: с обработкой стимулирующими препаратами – 12,44–12,50; без обработки – 12,51–12,84; для 2-й группы без добавления ржаного солода 12,81–12,86 и 13,11–13,54 соответственно. Себестоимость традиционного кваса, полученного на основе зернового сырья (ячменного и ржаного солодов и ржаной муки) или концентрата квасного суслу в среднем составляет 10–11 р./дм<sup>3</sup>. Расчет позволил с экономической точки зрения подтвердить целесообразность производства предложенных ФЗН ввиду соразмерности их себестоимости с традиционным квасом.

Идентификационными признаками разработанных ФЗН предлагается выделить следующие:

- содержание янтарной кислоты не менее 300 мг/дм<sup>3</sup>;
- общее содержание органических кислот не менее 500 мг/дм<sup>3</sup>;
- общее содержание аминокислот не менее 30 мг/100 см<sup>3</sup>.

**Седьмой этап** диссертационной работы ориентирован на коммерциализацию предлагаемой модели производства ФЗН. Проведенная производственная апробация технологии солода и ФЗН по разработанной технической документации (ТУ и ТИ) свидетельствует о рассмотрении производителями предлагаемого продукта к внедрению на действующих предприятиях пивобезалкогольной отрасли. В ходе производственных испытаний выпущена партия ФЗН объемом 1350 дал. Отмечено, что предлагаемая технология позволяет увеличить выход готовой продукции на 7,4–10,1 %, повысить производительность предприятия за счет увеличения оборачиваемости производственного цеха – бродильного отделения (на 15–20 %), что приводит к снижению себестоимости продукции и получению дополнительной прибыли. При выработке партии ФЗН 200 дал дополнительная прибыль составила 4171,7 р., при производстве до 50 тыс. дал в год прибыль может составлять до 1,04 млн р., при производстве 200 тыс. дал в год – до 4,0 млн р.

Выполненные технологические расчеты по производству солода подтверждают целесообразность использования стимуляторов роста при солодоращении зернового сырья. Практическая эффективность отражается в приросте выхода готовой продукции крупных солодовенных предприятий до 500 т солода в год (увеличение до 3 %) за счет снижения технологических потерь при солодоращении при сокращении продолжительности стадии проращивания и снижении потерь на образование ростков. Установлено, что предлагаемая стимуляция солода увеличивает оборачиваемость солодовенного цеха на 14,3 %, что приводит к сокращению энергетических расходов. За счет этого при производительности 10 тыс. т солода в год выход может быть увеличен на 1,2–1,3 тыс. т, что позволит предприятию получить дополнительную прибыль до 17–20 млн р. в год.

## Заключение

1. Разработана методология формирования ФЗН с регулируемым нутриентным составом с применением модульно-алгоритмического подхода. Определены модульные и алгоритмические элементы системы, формирующие пищевую и биологическую ценность, показатели качества ФЗН. Модульные: отбор сырья, биотрасформация сырья с применением стимуляторов роста, технологические приемы формирования нутриентного состава сусла ФЗН (механохимический способ измельчения сырья, технологические режимы получения сусла), релевантный подход к ферментированию сусла ФЗН с использованием разных штаммов сбраживающих микроорганизмов, рецептурное моделирование ФЗН с целевым нутриентным составом. Алгоритмические: организованные технологические процессы биотрансформации сырьевого ресурса (технологические: операционная линия, режимы, параметры), превентивные способы обеспечения устойчивости показателей качества ФЗН, верификация модульных элементов апробированными методами.

2. Обосновано формирование ресурсного элемента системы. Проведен статистический анализ ресурсных возможностей АПК, демонстрирующий способность обеспечения предприятий пивобезалкогольной отрасли зерновым/бобовым сырьем с высокими агротехническими и нутриентными свойствами: стабильная урожайность зернового сырья – 17,2–31,2 ц/га, бобового – 14,8–15,9 ц/га на протяжении пяти лет. На основании сравнительного анализа нутриентного состава сырья обоснован выбор сортов зернового/бобового сырья для использования в производстве ФЗН; ячмень – «Ворсинский 2», пшеница – «Алтайская 100», рожь – «Сибирь», овес – «Гаврош», соя – «Гармония».

3. Научно обоснован технологический модуль формирования ФЗН с декомпозицией его на составные элементы и экспериментально доказана эффективность модульного-алгоритмического подхода к функциональности составных элементов:

а) предложены способы биотрансформации сырья с применением стимулирующих препаратов при солодоращении (комплекса органических кислот, входящих в цикл Кребса (2-оксоглутаровая, лимонная, яблочная, янтарная, фумаровая), комплексного препарата «Энерген», ФП «Целмолаза» и «Бирзим БГ»); экспериментально-математическим способом определены оптимальные концентрации введения стимуляторов при замачивании сырья: комплекса органических кислот –  $10^{-9}$  моль/дм<sup>3</sup>, препарата «Энерген» – 0,6 г/дм<sup>3</sup>, ФП «Целмолаза» – 0,6 % и «Бирзим БГ» – 0,4 % (4,8–4,9 ед. по ЦА на 1 г сырья); усовершенствована технология ячменного, пшеничного ржаного неферментированного и ржаного ферментированного солодов, разработана технология овсяного и соевого солодов; установлено, что:

– использование в технологии ячменного солода на основе сорта «Ворсинский 2» комплекса органических кислот в концентрации  $10^{-9}$  моль/дм<sup>3</sup> обеспечивает повышение АС на 28,6 %, ПС на 35,2 %, содержание аминокислот на 15,7 %;

– использование в технологии пшеничного солода на основе сорта «Алтайская 100» комплексного препарата «Энерген» в концентрации 0,6 г/дм<sup>3</sup> повышает АС на 15,8 %, ПС на 57,5 %, содержание аминокислот на 16,7 %, снижает количество клейковины на 12,3 %;

– применение в технологии ржаного неферментированного и ржаного ферментированного солода на основе сорта «Сибирь» ФП «Бирзим БГ» в количестве 0,4 % (4,9 ед. по ЦА на 1 г сырья) приводит к повышению ЦА в ржаном неферментированном солоде на 52,7 %, в ржаном ферментированном на 60,0 %, увеличению аминокислот в ржаном неферментированном солоде на 21,5 %, в ржаном ферментированном на 25,3 %;

– применение в технологии овсяного солода на основе сорта «Гаврош» цитолитического ФП «Целмолаза» в концентрации 0,6 % (4,8 ед. по ЦА на 1 г сырья) повышает ЦА на 35,4 %, содержание аминокислот на 18,6 %;

– использование в технологии соевого солода на основе сорта «Гармония» комплекса органических кислот в концентрации  $10^{-9}$  моль/дм<sup>3</sup> обеспечивает повышение АС на 22,3 % и содержания аминокислот на 27,2 %; снижение уровня антипитательных веществ в 2,6 раза по активности фермента уреазы и в 4,3 раза по ТИА (в сравнении с исходной соей);

б) определены оптимальные технологические режимы и параметры технологического модуля производства ФЗН, формирующие показатели качества:

– организация стадии затирания зернопродуктов по технологическим параметрам: приготовление сусла с пшеничным солодом – температура 52 °С, продолжительность 50 мин; приготовление сусла с овсяным солодом – температура 51 °С, продолжительность 50 мин; приготовление сусла с соевым солодом – температура 55 °С, продолжительность 60 мин; приготовление многокомпонентного сусла – две температурные паузы 52 °С и 55 °С по 30 мин каждая; при использовании ржаного и (или) овсяного солодов

необходимо ввести дополнительную температурную паузу 40 °С с продолжительностью 30 мин;

– организация ферментации сусла с применением сухих хлебопекарных дрожжей «Nevada» и «Angel» или сухих пивных дрожжей «Saflager W-34/70» и «Saflager S-23» (вид *Saccharomyces*) по следующим параметрам: норма внесения дрожжей – 20 млн кл/см<sup>3</sup>, продолжительность ферментации 18–20 ч;

в) подтверждено применение аддитивных технологий в формировании ФЗН:

– использование механохимического воздействия на ржаной и овсяный солод, позволяющего увеличить выход мальтозы на 17,6–20,8 %, аминного азота – на 21,9–31,6 %;

– применения способа концентрирования сусла до содержания сухих веществ ( $72,10 \pm 1,44$ ) % с целью оптимизации технологического процесса приготовления сусла;

г) разработана технология ФЗН, позволяющая повысить БЦ и ПЦ напитков, оптимизировать производственный процесс (исключить стадию купажирования, сократить продолжительность ферментации с 24 до 18–20 ч, оптимизировать стадию приготовления сбраживающих микроорганизмов); разработаны семь рецептур ФЗН с добавлением ржаного солода, три рецептуры ФЗН без добавления ржаного солода с БЦ и ПЦ: содержание аминокислот в ФЗН увеличивается в 1,7–2,8 раза, количество органических кислот повышается в ФЗН с добавлением ржаного солода до 18,6 %, содержание витаминов группы В в ФЗН с добавлением ржаного солода, сброженных сухими пивными дрожжами, увеличивается в 1,6–2,3 раза.

4. Разработана система управления технологическими рисками:

– предложен управленческий контроль производства ФЗН с разработкой схемы производственного контроля и плана ХАССП по производству солода, определены дополнительные критические контрольные точки (ККТ 1 – входной контроль сои по уровню уреазы и трипсинингибирующей активности; ККТ 2 – контроль готовой продукции соевого солода по уровню уреазы и трипсинингибирующей активности, контролируемые параметры, установлены критические значения параметров, предложены корректирующие мероприятия;

– применение в технологической линии производства ФЗН превентивных технологических решений: введение обеспложивающей фильтрации или пастеризации напитков;

– установлены сроки годности напитков: ФЗН с добавлением ржаного солода – до 7 сут, ФЗН без добавления ржаного солода – до 5 сут, при использовании обеспложивающей фильтрации – до 30 сут, при проведении пастеризации – до 90 сут.

5. Проведена оценка эффективности функционирования модульно-алгоритмического подхода к производству ФЗН и конкурентоспособности ФЗН:

– проведены маркетинговые исследования по изучению рынка безалкогольных напитков, предложению зерновых напитков в разные сезонные периоды, методом фокус-группы двух целевых аудиторий (первая – разновозрастная аудитория, вторая – молодежная аудитория) проведена оценка потребительских предпочтений к ФЗН. Выявлено положительное отношение респондентов к покупке такого вида напитков с целенаправленно измененным нутриентным составом (80 % первой группы и 100 % второй готовы приобретать ФЗН с новыми вкусовыми и функциональными свойствами);

– проведена оценка ФЗН по регламентируемым показателям качества и безопасности, установлено соответствие показателей требованиям нормативных документов (ГОСТ 31494-2012, ТР ТС 021/2011). Проведена дегустационная оценка ФЗН по разработанной 5-балльной шкале. Рассчитана энергетическая ценность напитков;

– проведен расчет себестоимости ФЗН: для первой группы ФЗН с добавлением ржаного солода в диапазоне 12,44–12,50 р./дм<sup>3</sup>; для второй группы ФЗН без добавления ржаного солода – 12,81–12,86 р./дм<sup>3</sup>, подтверждающий целесообразность производства предложенных напитков ввиду соразмерности их себестоимости с себестоимостью традиционного кваса (10,0–11,0 р./дм<sup>3</sup>).

б. Проведена производственная апробация и внедрение рецептур и технологий на предприятия пивобезалкогольной промышленности, внедрение результатов исследований в образовательный процесс:

– разработана техническая документация на производство солода и ФЗН: ТУ 11.06.10-065-01597951-2021 «Производство овсяного солода», ТУ 11.06.10-066-01597951-2021 «Производство соевого солода», ТИ 11.06.10-067-01597951-2021 «Технология ячменного, пшеничного, ржаного, овсяного и соевого солодов с применением стимулирующих препаратов», ТИ 11.07.19-068-01597951-2022 «Технология ферментированных зерновых напитков»;

– проведена апробация результатов исследований в производственных условиях на предприятиях пивобезалкогольной отрасли Новосибирской, Кемеровской областей, Алтайского края с рекомендациями дальнейшего их внедрения;

– результаты исследований внедрены в образовательный процесс при подготовке бакалавров и магистров образовательной организации АНОО ВО Центросоюза РФ «Сибирский университет потребительской кооперации».

## Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

### Публикации в изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ

#### *RCSI – K1*

1. **Миллер, Ю.Ю.** Интенсификация солодоращения ржи с применением метода ферментативного биокатализа / Ю.Ю. Миллер, Т.Ф. Киселева, В.А. Помозова // Пищевая промышленность. – 2023. – № 5. – С. 81–83.
2. **Миллер, Ю.Ю.** Влияние неорганической обработки при солодоращении на ферментативную активность пшеничного солода / Ю.Ю. Миллер, Т.Ф. Киселева, Л.В. Пермякова, Ю.В. Арышева // Пищевая промышленность. – 2022. – № 1. – С. 42–45.
3. **Миллер, Ю.Ю.** Технология кваса с использованием солодов специальной обработки / Ю.Ю. Миллер, В.И. Бакайтис, А.А. Орлов, Т.Ф. Киселева // Пищевая промышленность. – 2021. – № 10. – С. 34–37.
4. Киселева, Т.Ф. Исследование возможности применения органического стимулятора в производстве нетрадиционных солодов / Т.Ф. Киселева, Ю.В. Гребенникова, **Ю.Ю. Миллер** [и др.] // Пищевая промышленность. – 2019. – № 10. – С. 32–36.
5. Киселева, Т.Ф. Использование соевого и пшеничного солодов в производстве напитков брожения / Т.Ф. Киселева, Ю.В. Гребенникова, **Ю.Ю. Миллер**, А.А. Орлов // Пищевая промышленность. – 2019. – № 5. – С. 10–14.
6. Киселева, Т.Ф. Возможность интенсификации солодоращения посредством использования комплекса органических кислот / Т.Ф. Киселева, **Ю.Ю. Миллер**, Ю.В. Гребенникова, Е.И. Стабровская // Техника и технология пищевых производств. – 2016. – № 1 (40). – С. 11–17.
7. Киселева, Т.Ф. Влияние проращивания на содержание антипитательных веществ в семенах сои / Т.Ф. Киселева, Н.Ф. Ульянкина, **Ю.Ю. Миллер** [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2013. – № 6. – С. 28–30.

#### *K2*

8. **Миллер, Ю.Ю.** Использование сухих микроорганизмов в производстве кваса / Ю.Ю. Миллер, Т.Ф. Киселева, В.А. Помозова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2024. – Т. 86, № 1. – С. 189–195.
9. **Миллер, Ю.Ю.** Оценка пригодности высокобелковых сортов злаковых культур к использованию в производстве ферментированных зерновых напитков / Ю.Ю. Миллер, В.А. Помозова, Т.Ф. Киселева // Пиво и напитки. – 2024. – № 3. – С. 4–9.
10. **Миллер, Ю.Ю.** Использование сухих хлебопекарных дрожжей в производстве ферментированных зерновых напитков / Ю.Ю. Миллер, В.А. Помозова, Т.Ф. Киселева // Индустрия питания. – 2024. – Т. 9, № 1 – С. 73–81.

11. **Миллер, Ю.Ю.** Концептуальный подход к разработке ферментированных зерновых напитков / Ю.Ю. Миллер // Пиво и напитки. – 2023. – № 3. – С. 11–16.
12. Пермякова, Л.В. Использование местных сырьевых ресурсов – залог развития регионального пивоварения / Л.В. Пермякова, Т.Ф. Киселева, **Ю.Ю. Миллер**, И.Ю. Сергеева // АПК России. – 2023. – Т. 30, № 1. – С. 108–115.
13. **Миллер, Ю.Ю.** Возможность получения высокоферментированного ржаного солода с применением органической обработки / Ю.Ю. Миллер, Т.Ф. Киселева // Пиво и напитки. – 2021. – № 2. – С. 14–18.
14. **Миллер, Ю.Ю.** Применение экстракта *Agrimonia eupatoria* L. для производства кваса / Ю.Ю. Миллер, О.В. Голуб, К.В. Захарова // Индустрия питания. – 2020. – Т. 5, № 3. – С. 35–43.
15. Киселева, Т.Ф. Совершенствование технологии пшеничного солода / Т.Ф. Киселева, В.А. Помозова, **Ю.Ю. Миллер**, А.Л. Верещагин // Пиво и напитки. – 2017. – № 5. – С. 10–14.
16. Киселева, Т.Ф. Совершенствование технологии овсяного солода / Т.Ф. Киселева, **Ю.Ю. Миллер**, С.В. Степанов [и др.] // Пиво и напитки. – 2014. – № 1. – С. 28–30.
17. Помозова, В.А. Новый вид дрожжей для производства медовых напитков / В.А. Помозова, И.А. Еремина, Ю.Ю. Миллер [и др.] // Пиво и напитки. – 2005. – № 6. – С. 32–34.

#### **Статьи в изданиях, индексируемых в международных базах данных**

18. **Miller, Yu.Yu.** Using non-traditional raw materials in the production of grain beverages / Yu.Yu. Miller, T.F. Kiseleva, V.A. Pomozova // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 103. – Art. 00092.
19. **Миллер, Ю.Ю.** Биотехнологический подход к интенсификации производства соевого солода / Ю.Ю. Миллер, Т.Ф. Киселева // Биотехнология. – 2022. – Т. 38, № 6. – С. 84–89.
20. **Miller, Yu.Yu.** The use of high-protein vegetable raw materials in the production of fermented drinks / Yu.Yu. Miller, T.F. Kiseleva, L.V. Permyakova, V.A. Pomozova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2022. – Vol. 1052. – Art. 012003.
21. **Миллер, Ю.Ю.** Формирование качественных характеристик соевого солода посредством использования активатора роста органической природы / Ю.Ю. Миллер, Т.Ф. Киселева, Ю.В. Арышева // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 2. – С. 248–259.
22. Kiseleva, T.F. Technological assessment of the suitability of domestic raw materials for beer production as an important link in the country's food security / T.F. Kiseleva, L.V. Permyakova, **Yu.Yu. Miller** [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 640. – Art. 062033.
23. Kiseleva, T.F. The elaboration of the technology of polymalt beverages recommended to the population of Kemerovo region under the conditions of negative ecological environment / T.F. Kiseleva, Y.V. Grebennikova, **Y.Y. Miller** [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 224. – Art. 012002.

24. Kiselev, V.M. The role of geographic information systems in ensuring food security in countries during epidemiological crises / V.M. Kiselev, T.F. Kiseleva, Yu.Yu. Miller [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 666. – Art. 022088.

### Монографии

25. **Миллер, Ю.Ю.** Современные подходы в технологии солода и напитков брожения на его основе / Ю.Ю. Миллер, Т.Ф. Киселева, Ю.В. Арышева. – Новосибирск : СибУПК, 2023. – 160 с.

26. **Миллер, Ю.Ю.** Совершенствование технологии солода нетрадиционных злаков, используемых в производстве сброженных безалкогольных напитков / Ю.Ю. Миллер. – Новосибирск : СибУПК, 2018. – 160 с.

27. **Миллер, Ю.Ю.** Теоретическое обоснование использования нетрадиционного зернового сырья в производстве напитков / Ю.Ю. Миллер, С.В. Степанов. – Кемерово : КемТИПП, 2015. – 109 с.

### Свидетельства и патенты

28. Пат. № 2773493 Рос. Федерация, МПК C12C 1/02, C12C 1/047, C12C 1/18. Способ производства соевого солода : № 2021112090 : заявл. 26.04.2021 : опубл. 07.06.2022 / **Ю.Ю. Миллер**, Т.Ф. Киселева, Ю.В. Арышева [и др.].

29. Пат. № 2705285 Рос. Федерация, МПК C12C 7/00, C12C 5/00, C12C 11/02, C12C 12/00. Способ производства поликомпонентного солодового сброженного напитка : № 2018147816 : заявл. 29.12.2018 : опубл. 06.11.2019 / **Ю.Ю. Миллер**.

30. Пат. № 2706540 Рос. Федерация, МПК C12C 1/047, C12C 1/02. Способ производства ржаного неферментированного солода : № 2019104665 : заявл. 19.02.2019 : опубл. 19.11.2019 / **Ю.Ю. Миллер**, О.В. Голуб, Т.Ф. Киселева [и др.].

### Список сокращений и условных обозначений

АПК – агропромышленный комплекс.

АС – амилолитическая активность.

БЦ – биологическая ценность.

КС – концентрат сусла.

ПС – протеолитическая активность.

ПЦ – пищевая ценность.

СВ – сухие вещества.

ТИА – трипсинингибирующая активность.

ФА – ферментативная активность.

ФЗН – ферментированные зерновые напитки.

ФП – ферментный препарат.

ЦА – цитолитическая активность.

Подписано в печать 18.09.2024.  
Формат 60 × 84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Гарнитура Таймс. Бумага офсетная. Печать плоская.  
Уч.-изд. л. 2,0. Тираж 150 экз. Заказ

Отпечатано с готового оригинал-макета в подразделении оперативной полиграфии  
Уральского государственного экономического университета  
620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45