

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства,
виноградарства, виноделия»

На правах рукописи



Иванова Елена Александровна

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО БЕЗАЛКОГОЛЬНОГО НАПИТКА НА ОСНОВЕ
МИКРОБНОЙ БИОТРАНСФОРМАЦИИ ЭКСТРАКТОВ
ВЫЖИМОК ВИНОГРАДА

Специальность 4.3.3 Пищевые системы

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук,
доцент
Першакова Т.В.

Краснодар – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ПРОИЗВОДСТВА БЕЗАЛКОГОЛЬНЫХ НАПИТКОВ НА ОСНОВЕ МИКРОБНОЙ БИОТРАНСФОРМАЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ	13
1.1 Выжимки винограда как перспективное сырье для пищевых производств	13
1.2 Современные методы экстрагирования биологически активных веществ из растительного сырья	16
1.3 Микробная биотрансформация в технологии функциональных	21
продуктов питания	21
1.4 Математическое моделирование в оптимизации процессов пищевых производств	31
1.5 Обоснование выбора направления исследований	42
2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	44
2.1 Объекты исследования	44
2.2 Этапы проведения экспериментов	45
2.3 Методы исследований	46
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ И БИОТРАНСФОРМАЦИИ ЭКСТРАКТОВ ВЫЖИМОК ВИНОГРАДА	53
3.1 Обоснование выбора видов выжимок винограда для исследования	53
3.2 Исследование влияния вида выжимок винограда и технологических режимов на процесс экстрагирования	57
3.2.1 Исследование влияния степени измельчения выжимок винограда и температуры экстрагирования на органолептические показатели и биохимический состав экстрактов	57
3.2.2 Исследование влияния времени экстрагирования и интенсивности перемешивания на органолептические показатели и биохимический состав экстрактов	66

3.2.3 Сравнительная оценка эффективности предварительной обработки выжимок винограда электромагнитным полем крайне низкой частоты и ультразвуком на органолептические показатели и биохимический состав экстрактов.....	74
3.3 Разработка моделей и цифровых инструментов оптимизации процесса экстрагирования.....	78
3.3.1 Функциональное моделирование процесса получения экстракта выжимок винограда для функционального напитка.....	78
3.3.2 Автоматизированное прогнозирование органолептических показателей напитка на основе содержания редуцирующих сахаров в экстракте	88
3.4 Исследование влияния технологических режимов на процесс микробной биотрансформации экстрактов выжимок винограда с применением <i>Orizomyces indici</i>	91
3.4.1 Влияние температуры и времени микробной биотрансформации экстрактов выжимок винограда на степень роста полисимбиотической культуры <i>Orizomyces indici</i> и органолептические показатели ферментированного экстракта.....	91
3.4.2 Влияние массовой доли сахарозы в экстракте из выжимок винограда сорта Саперави на активность роста полисимбиотической культуры <i>Orizomyces indici</i> и органолептические характеристики биотрансформированного экстракта.....	97
3.4.3 Многофакторный эксперимент по оптимизации параметров микробной биотрансформации экстракта	99
3.5 Исследование динамики биохимических превращений и формирование органолептических показателей качества экстракта в процессе микробной биотрансформации	103
3.6 Разработка цифрового инструмента оптимизации процессов микробной биотрансформации экстракта	106
4 РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО БЕЗАЛКОГОЛЬНОГО НАПИТКА.....	109

4.1 Разработка рецептуры и технологической схемы производства	109
4.2 Исследование потребительских свойств разработанного функционального безалкогольного напитка	117
4.3 Исследование влияния материала упаковки на потребительские свойства разработанного функционального безалкогольного напитка в процессе хранения	123
4.4 Производственная апробация разработанной технологии.....	125
4.5 Оценка экономической эффективности от внедрения разработанных рецептуры и технологии производства функционального безалкогольного напитка.....	125
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	131
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	134
ПРИЛОЖЕНИЕ А – 5-БАЛЛЬНАЯ ШКАЛА ОЦЕНКИ ЭКСТРАКТОВ ИЗ ВЫЖИМОК ВИНОГРАДА.....	150
ПРИЛОЖЕНИЕ Б – 5-БАЛЛЬНАЯ ШКАЛА ОЦЕНКИ БИОТРАНСФОРМИРОВАННОГО ЭКСТРАКТА.....	151
ПРИЛОЖЕНИЕ В – 10-БАЛЛЬНАЯ ШКАЛА ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО БЕЗАЛКОГОЛЬНОГО НАПИТКА «ЮЛАНТ А-БИО».....	152
ПРИЛОЖЕНИЕ Г – СКРИНШОТЫ РАБОТЫ ПРИЛОЖЕНИЙ	153
ПРИЛОЖЕНИЕ Д – СВИДЕТЕЛЬСТВА О РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММ ДЛЯ ЭВМ	155
ПРИЛОЖЕНИЕ Е – ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ.....	157
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж – ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ.....	158
ПРИЛОЖЕНИЕ И – АКТ ВНЕДРЕНИЯ.....	159

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность диссертационной работы по разработке технологии функционального безалкогольного напитка на основе микробной биотрансформации выжимок винограда продиктована необходимостью решения ряда приоритетных задач агропромышленного комплекса.

Во-первых, проблема утилизации вторичных ресурсов виноделия (выжимок винограда) может быть эффективно решена путем их вовлечения в глубокую переработку. Такой подход соответствует принципам ресурсосбережения, вовлечения вторичных ресурсов в хозяйственный оборот и минимизации отходов, что повышает рентабельность производства. Во-вторых, работа отвечает запросу потребителей на расширение ассортимента качественных функциональных безалкогольных напитков, а также способствует импортозамещению зарубежной продукции. В-третьих, несмотря на ценный биохимический состав, потенциал выжимок винограда в настоящее время раскрыт не в полной мере. Исследование механизмов микробной биотрансформации позволит получать из указанного сырья биологически активные вещества, что и определяет научную и практическую значимость работы.

Применение математического моделирования и методов оптимизации для управления технологическими процессами соответствует стратегическим приоритетам Российской Федерации в области цифровой трансформации АПК, что позволяет перейти от эмпирического подхода к научно обоснованному проектированию пищевых продуктов.

Степень разработанности темы. Проблема переработки вторичных ресурсов агропромышленного комплекса, в частности винодельческой отрасли, является предметом активных научных изысканий. В настоящее время такими авторами, как Агеева Н.М., Миронова Е.А., Тихонова А.Н., Чекмарева М.Г., и другими, достаточно глубоко изучен биохимический состав выжимок винограда и установлен их значительный потенциал как источника пищевых волокон, органических кислот и широкого спектра полифенольных соединений. Такими ис-

следователями, как Егорова Е.Ю., Мусифулина В.М., Wani K.M., Renovato-Núñez J., Soquetta M.B. разработан ряд традиционных и инновационных методов экстракции биологически активных веществ (БАВ) из растительного сырья, включая ультразвуковую, микроволновую обработку, а также показана их эффективность для интенсификации процессов извлечения целевых компонентов.

Широко известны и применяются в пищевой промышленности различные культуры микроорганизмов для ферментации, включая молочнокислые бактерии и дрожжи. В последние годы возрастает интерес к использованию сложных полисимбиотических культур таких, как *Orizomyces indicī*, благодаря их способности к одновременному протеканию нескольких типов брожения и синтезу комплекса БАВ (Куприец А.А., Степанова А.А., Королева Л.М., Цед Е.А.). Имеются работы Сапарбековой А.А., Шевцовой Т.В., демонстрирующие возможность применения *Orizomyces indicī* для ферментации плодово-ягодного сырья.

В сфере моделирования пищевых производств накоплен значительный опыт применения методов линейного программирования, регрессионного анализа и нейросетевых технологий для оптимизации рецептур и технологических режимов. В качестве исследователей данной тематики можно упомянуть Липатова Н.Н., Лисина П.А., Донских Н.В., Муратову Е.И. и др.

Вместе с тем, комплексный анализ литературных данных позволил выявить следующие недостаточно изученные аспекты: отсутствуют системные исследования, связывающие параметры экстрагирования БАВ из выжимок винограда конкретных сортов Анапа-Таманской зоны с последующей эффективностью их микробной биотрансформации; кинетика роста полисимбиотической культуры *Orizomyces indicī* на экстрактах выжимок винограда и закономерности биотрансформации специфического полифенольного комплекса данного сырья изучены фрагментарно; отсутствуют апробированные математические модели, позволяющие прогнозировать показатели качества на основе заданных технологических режимов на стадиях экстрагирования и ферментации.

Таким образом, существующие в настоящее время разработки не позволяют в полной мере реализовать потенциал выжимок винограда для создания

функциональных безалкогольных напитков на основе контролируемой микробной биотрансформации. Устранение указанных пробелов является необходимой предпосылкой для создания научно обоснованной технологии производства функциональных безалкогольных напитков.

В связи с этим, сформулирована **научная гипотеза** о том, что целенаправленное регулирование технологических режимов экстрагирования выжимок винограда и последующей микробной биотрансформации экстрактов с применением полисимбиотической культуры *Orizomyces indicis* позволит получить функциональный безалкогольный напиток, а математическое моделирование этих процессов обеспечит оптимизацию технологических режимов отдельных стадий технологического процесса и воспроизводимость полученных результатов.

Исходя из этого, поставлена **цель исследования** – разработка технологии функционального безалкогольного напитка на основе микробной биотрансформации экстрактов выжимок винограда полисимбиотической культурой *Orizomyces indicis* с применением математического моделирования для оптимизации технологических режимов.

Задачи исследования:

- провести систематический анализ научно-технической литературы по составу и способам переработки выжимок винограда; методам экстракции биологически активных веществ; микробной биотрансформации растительного сырья с акцентом на применение полисимбиотической культуры *Orizomyces indicis*; математическому моделированию технологических процессов;
- обосновать выбор перспективных для производства функционального безалкогольного напитка видов выжимок винограда путем сравнительного анализа биохимического состава и органолептических свойств их экстрактов;
- исследовать влияние степени измельчения выжимок винограда, температуры, продолжительности, интенсивности перемешивания и методов предварительной обработки (ультразвук, электромагнитное поле) в процессе экстракции на выход полифенолов, сахаров и органолептические показатели экстрактов,

установить оптимальные режимы процесса экстрагирования биологически активных веществ;

- установить зависимости влияния температуры, продолжительности ферментации, дозировки сахарозы и инокулята на динамику роста биомассы *Orizamyces indici*, биохимические процессы и формирование органолептического профиля; определить оптимальные режимы микробной биотрансформации;

- разработать математические модели и цифровые инструменты для прогнозирования качества экстрактов и оптимизации режимов процессов экстрагирования и микробной биотрансформации, включая функциональное моделирование в нотации IDEF0 и программные средства для автоматизированного расчета органолептических показателей и скорости сбраживания субстрата;

- разработать рецептуру и технологию производства функционального безалкогольного напитка на основе биотрансформированного экстракта, провести оценку его потребительских свойств;

- провести опытно-промышленную апробацию разработанных технологических решений и оценить экономическую эффективность от их внедрения.

Объект исследования. Технологический процесс производства функционального безалкогольного напитка, включающий совокупность операций экстрагирования биологически активных веществ из выжимок винограда и их микробной биотрансформации полисимбиотической культурой *Orizamyces indici*, обеспечивающих получение целевого продукта.

Предмет исследования. Зависимости между технологическими режимами процессов экстрагирования и органолептическими и биохимическими показателями экстрактов; зависимости влияния режимов микробной биотрансформации на рост и развитие полисимбиотической культуры *Orizamyces indici*, биотрансформацию биологически активных веществ, формирование органолептических свойств напитка; математические модели оптимизации технологических режимов для получения напитка с заданными функциональными свойствами; потребительские свойства готового продукта.

Теоретическая значимость. Проведенное исследование вносит вклад в развитие научных основ пищевой биотехнологии и технологии функциональных пищевых продуктов. Дополнены теоретические представления о механизмах микробной биотрансформации растительных субстратов и формирования органолептического профиля ферментированных напитков.

Научная новизна заключается в следующем:

- впервые установлены зависимости влияния сортовых особенностей и способов обеспечения сохраняемости выжимок винограда Анапа-Таманской зоны на биохимический состав и органолептические свойства водных экстрактов;
- впервые доказано положительное влияние предварительной ультразвуковой обработки и воздействия электромагнитного поля крайне низкой частоты (ЭМП КНЧ) на интенсификацию процесса экстракции биологически активных веществ из выжимок винограда; установлено, что ультразвуковая обработка наиболее эффективна для сброженных выжимок винограда красных сортов, увеличивая выход полифенолов;
- впервые установлены и количественно охарактеризованы зависимости биохимических показателей экстракта из сброженных выжимок винограда красных сортов от способа обработки; доказано, что ультразвуковая обработка является более эффективным методом интенсификации экстракции полифенольных веществ по сравнению с обработкой электромагнитным полем крайне низкой частоты (ЭМП КНЧ);
- впервые выявлены и количественно охарактеризованы эффекты микробной биотрансформации экстракта сброженных выжимок винограда красных сортов культурой *Orizomyces indicis* – увеличение антиоксидантной активности, биосинтез витаминов В₇ и В₉;
- впервые разработаны адекватные математические модели (регрессионные уравнения второго порядка) процессов экстрагирования выжимок винограда и микробной биотрансформации экстрактов, позволяющие с высокой точностью

прогнозировать выход целевых биологически активных веществ и органолептические показатели в зависимости от технологических режимов.

Практическая значимость. Разработаны технология и рецептура функционального безалкогольного напитка. Создан комплект технической документации (ТУ 11.07.19–098–17021101–2025, ТИ 11.07.19.133–098–17021101–2025), позволяющий организовать промышленное производство безалкогольного функционального напитка «Юланта-БИО». Подготовлены рекомендации для винодельческих предприятий по организации безотходного производства и диверсификации продукционной линейки, что способствует повышению их экономической эффективности. Разработаны программные модули для оптимизации технологических режимов экстракции и микробной биотрансформации экстрактов выжимок винограда, сокращающие время и затраты на разработку новых технологических решений.

Результаты работы могут быть использованы научно-исследовательскими организациями при проведении исследований в области биотехнологии, технологии функциональных продуктов и переработки вторичных ресурсов АПК. Материалы диссертации могут быть применены в образовательном процессе вузов по направлениям подготовки «Продукты питания из растительного сырья», «Биотехнология», «Пищевая инженерия».

Методология и методы исследования. Методология исследования основана на системном подходе, включавшем последовательное изучение сырья, оптимизацию технологических процессов и комплексную оценку готового продукта. В процессе исследования применялись стандартные физико-химические, хроматографические, спектрофотометрические и органолептические методы анализа, математическое моделирование, статистическое планирование экспериментов для оптимизации параметров экстракции и ферментации. Для оценки эффективности применялись технологические расчеты (продуктовые, аппаратные) и методы экономического анализа.

Положения, выносимые на защиту.

1. Результаты выбора выжимок винограда в качестве перспективного источника полифенолов, разработанные технологические режимы их экстрагирования, обеспечивающие максимальный выход полифенольных соединений и высокие органолептические показатели экстракта.

2. Разработанные оптимальные режимы микробной биотрансформации экстракта выжимок винограда с применением полисимбиотической культуры *Orizamyces indici*, обеспечивающие максимальный прирост биомассы, формирование сбалансированного органолептического профиля, биотрансформацию полифенольных соединений и биосинтез витаминов В₇ и В₉.

3. Разработанные регрессионные модели, описывающие зависимость выхода полифенолов и сахаров от режимов экстрагирования, а также прироста биомассы и органолептической оценки от условий ферментации экстракта.

4. Разработанные технология и рецептура функционального безалкогольного напитка «Юланта-БИО», результаты оценки его потребительских свойств.

Достоверность и апробация результатов исследований подтверждается применением комплекса взаимодополняющих методов исследования, соответствующих современным стандартам (ГОСТ, ISO) и апробированных в научной практике; репрезентативным объемом выборок и проведением серий параллельных экспериментов с последующей статистической обработкой данных методами вариационной статистики и определением достоверности различий ($p < 0,05$); воспроизводимостью полученных результатов в повторных экспериментах; использованием современного аналитического оборудования с поверенной и аттестованной методической базой; корреляцией данных, полученных различными методами (физико-химические, микробиологические, органолептические, математические), подтверждающими их объективность и взаимосвязь.

Разработанные технология и рецептура прошли успешную опытно-производственную апробацию на базе Славянского РСПК (г. Славянск, Краснодарский край), что подтверждено соответствующим актом внедрения.

Основные результаты работы представлены на: II Международной научно-практической конференции «Научное обеспечение технологического развития и повышения конкурентоспособности в пищевой и перерабатывающей промышленности», г. Краснодар, 2022 г.; научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2022 г. «Точки научного роста: на старте десятилетия науки и технологии», г. Краснодар, 2022 г.; I Всероссийской научно-практической конференции обучающихся, преподавателей, практических работников «Образование – Наука – Практика», г. Краснодар, 2024 г.; научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2024 г. «Точки научного роста: на старте десятилетия науки и технологии», г. Краснодар, 2024 г.; VI Международной научно-практической конференция, посвященная 40-летию кафедры общественного питания и сервиса и в рамках Десятилетия науки и технологий «Инновации в индустрии питания и сервисе», г. Краснодар, 2024 г.

Личное участие автора. Автор лично осуществлял все этапы научного исследования, включая разработку концепции и постановку задач исследования, планировании и проведении экспериментальных исследований, обработку и интерпретацию результатов: сбор, систематизацию и статистическую обработку первичных экспериментальных данных, разработку регрессионных и функциональных моделей, разработку и программирование цифровых инструментов для оптимизации технологических режимов, разработку технологии и рецептуры, оценку экономической эффективности.

Публикации результатов исследования. По материалам диссертационной работы опубликовано 15 научных работ, в том числе 4 научных статьи в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ, 11 публикаций в других изданиях и в материалах конференций, получено 2 свидетельства на программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и 8 приложений. Работа изложена на 159 страницах машинописного текста, содержит 41 таблицу и 28 рисунков. Список литературы включает 124 источника, из которых 49 на иностранном языке.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ПРОИЗВОДСТВА БЕЗАЛКОГОЛЬНЫХ НАПИТКОВ НА ОСНОВЕ МИКРОБНОЙ БИОТРАНСФОРМАЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

1.1 Выжимки винограда как перспективное сырье для пищевых производств

Производство виноградных вин и соков в России демонстрирует устойчивую положительную динамику. За период с 2020 по 2025 год объем производства вин увеличился с 44 до 57 млн дал (рисунок 1.1). Такой рост обусловлен увеличением площадей виноградников, активными инвестициями в отрасль и растущим потребительским спросом на отечественную продукцию [1].

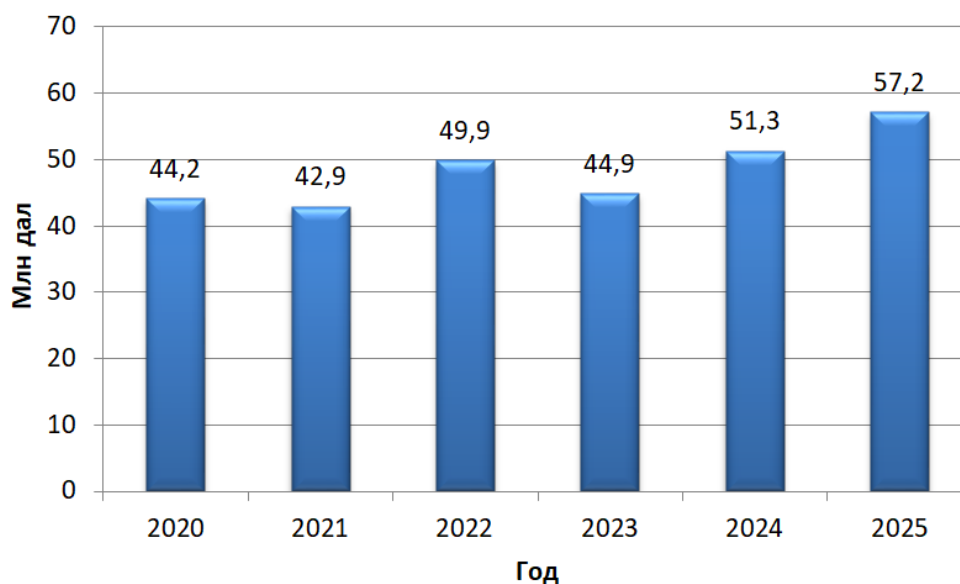


Рисунок 1.1 – Производство вина в РФ, 2018-2025, млн дал [1]

В структуре регионального распределения производства Краснодарский край сохраняет лидерство в винодельческой отрасли России, обеспечивая 43,7% общего объема производства (25 млн дал в 2025 году). Значительные объемы производства сосредоточены в Республике Крым (9,5 млн дал, или 16,6%) и Республике Дагестан (4,6 млн дал, или 8%) [2].

Виноградарство и виноделие – интенсивно развивающиеся отрасли агропромышленного комплекса Краснодарского края. Экологические условия края обеспечивают производство винограда столовых и технических сортов разных сроков созревания при хорошем качестве. Интенсивное развитие виноградарства и виноделия в Краснодарском крае сопровождается накоплением значительных объемов отходов. Ежегодное расширение площадей виноградников и увеличение мощностей переработки приводит к экспоненциальному росту количества вторичного сырья [3].

Основными видами отходов являются: нестандартный столовый виноград, выжимки винограда (20-25% от массы перерабатываемого винограда), гущевые осадки. Общий объем вторичного сырья превышает 20% от количества перерабатываемого винограда [4, 5].

Большинство специализированных предприятий по переработке отходов виноделия прекратили существование. Сезонность производства и невозможность оперативной утилизации свежих выжимок приводят к их накоплению. Около 80% выжимок размещается на открытых площадках или выбрасывается на поля, [6, 7]. Ежегодно в России и в мире образуется миллионов тонн этого материала, что создает серьезные экологические проблемы, связанные с его утилизацией.

Однако современные исследования кардинально меняют взгляд на выжимки винограда, трансформируя их из отхода в ценный ресурс для пищевой промышленности. Высокое содержание биоактивных соединений, пищевых волокон и питательных веществ делает выжимки винограда перспективным сырьем для создания продуктов функционального назначения.

Выжимки винограда представляют ценность благодаря высокому содержанию биологически-активных веществ: более 3% органических кислот (преимущественно винная кислота), свыше 10% протеина, до 18% клетчатки; минеральные элементы (кальций, фосфор, калий - 1,2%), полифенольные соединения, витамины B1, B2, C.

Выжимки винограда представляют собой сложный субстрат, содержащий около 30% нейтральных полисахаридов, 20% пектиновых веществ, 15% нерастворимых проантоцианидинов, структурных белков и фенольных соединений.

Согласно данным исследования [8], в выжимках винограда содержатся биологически ценные компоненты, включающие органические кислоты, основная из которых – винная кислота. Также были идентифицированы фенольные соединения: антоцианы, флавоны, флаван-3-олы, оксикоричные и гидроксibenзойные кислоты, процианидины. Основными антоцианами, обнаруженными в выжимках винограда, являются 3-О-гликозиды мальвидина, петунидина, цианидина, пеонидина и дельфинидина. Во всех образцах преобладал витамин В₁, далее следовали аскорбиновая кислота и витамины В₂, В₃, В₅, В₇. Концентрации витаминов существенно различались в зависимости от сорта винограда, что указывает на необходимость учета этого фактора при извлечении биологически активных веществ, повышающих пищевой статус человека.

Высокая концентрация полифенолов, преимущественно из красного винограда, является одной из ключевых характеристик выжимок. Основные биоактивные соединения в фенольной фракции включают ресвератрол, танины, антоцианы, фенольные кислоты и флаванолы.

Полифенольная фракция, особенно из красного винограда, демонстрирует значительную биологическую активность. Исследования выявили: антибактериальную активность против *S. aureus*, *B. cereus* и *E. coli* [9], ингибирование ферментов α -амилазы и α -глюкозидазы, что актуально для профилактики диабета [10, 11], антипролиферативное действие в отношении карциномы легких и аденокарциномы молочной железы [12], снижение жизнеспособности метастатических клеток меланомы на 25-50% [13].

Кроме того, рост алиментарно-зависимых заболеваний в России усиливает актуальность разработки функциональных продуктов питания. Статистика показывает увеличение заболеваний, связанных с нарушением обмена веществ, с 13051,4 случаев в 2022 г. до 15 809,5 случаев в 2024 г., 5,8 млн. официально заре-

гистрированных больных диабетом в 2024 году, имеющих диагноз «ожирение» – 3 млн [14].

Перспективы развития функционального питания. Рынок здорового питания демонстрирует устойчивый рост с преобладанием органических продуктов (43%), за которыми следуют функциональные (31%) и диетические продукты (26%). Изменение логистических цепочек и рост цен на традиционные продукты усиливают актуальность функционального питания [15, 16].

Функциональные продукты обеспечивают профилактику дефицита биологически-активных веществ, снижение риска хронических заболеваний, коррекцию пищевого статуса населения

Таким образом, существует объективная необходимость разработки эффективных технологий переработки выжимок винограда для создания функциональных продуктов. Их преобразование из экологической проблемы в источник ценных функциональных ингредиентов – это яркий пример реализации концепции «отходы в ресурс». Особую ценность представляют природоподобные технологии, обеспечивающие сохранение биологически активных веществ и позволяющие создавать продукты с доказанным оздоровительным потенциалом. Реализация таких разработок будет способствовать решению как экологических проблем виноделия, так и задач улучшения здоровья населения.

1.2 Современные методы экстрагирования биологически активных веществ из растительного сырья

Извлечение биологически активных веществ из выжимок винограда может вестись разными способами, одним из которых является экстракция. В современных условиях используются традиционные методы экстракции, и постоянно совершенствуются новые.

К традиционным методам экстракции относятся прессование (горячее и холодное), воднопаровая экстракция, экстракция различными растворителями (перколяция и мацерация).

Известны различные способы экстракции, основанные на таких методах, как водная экстракция с помощью ультразвука, водная экстракция с помощью микроволн, ферментативный гидролиз, холодное прессование, холодное прессование с замораживанием и оттаиванием [17, 18]. Экстракция горячей водой предполагает использование умеренного тепла в процессе экстракции. Метод подходит для легкорастворимых растительных материалов. Сравнение эффективности экстракции при обработке ультразвуком и горячей водой провел Wani, К.М. и др. [19]. Было установлено, что экстракция с помощью импульсного ультразвука показала наилучшие результаты по сравнению с экстракцией горячей водой.

Непрерывная экстракция горячей водой (экстракция по Сокслету) используется для извлечения водорастворимого и термостойкого растительного материала. Преимущество метода заключается в том, что большой объем препарата может быть извлечен малым количеством растворителя, применим к термостойким растительным материалам, не требуется фильтрация. В числе недостатков – невозможность регулярного перемешивания, несовместимость с термолабильными материалами [20].

Полунепрерывную экстракцию черного чая горячей водой под давлением описал He, Ch. и др. [21]. Ученый сделал вывод о том, что ключом к экстракции является выбор подходящего растворителя.

Содержание полифенольных веществ и другие характеристики экстрактов, полученных при обработке мацерацией, микроволновыми и ультразвуковыми полями изучали Renovato-Núñez, J., Enrique, L. [22].

Ультразвуковая экстракция предусматривает применение звуковой энергии на частоте, превышающей 20 кГц, для разрушения всех растительных клеток и увеличения площади поверхности для проникновения растворителя. Ультразвук относительно прост в использовании - он универсален, гибок и требует не больших инвестиций по сравнению с другими методами экстракции. Ультразвук облегчает извлечение полисахаридов, эфирных масел, белков, пептидов, красителей, пигментов и биоактивных соединений.

Chua, L.S., и др. [23] доказали, что предварительная обработка ультразвуком перед мацерацией увеличивает содержание в экстракте фенольных соединений и антоцианов. Они установили, что короткий период ультразвуковой обработки (30 мин) перед мацерацией может улучшить экстракцию, восстановив общее содержание фенолов и антоцианов, особенно, в толстой коже плодов.

Экстракция с помощью микроволн реализуется за счет вращения и ионного переноса путем смещения заряженных ионов, присутствующих в растворителе и растительном материале. Использование микроволнового оборудования является перспективной технологией, поскольку можно легко, безопасно и воспроизводимым образом получить доступ к более высоким температурам, время экстракции может быть сокращено, выход может быть увеличен, и чистота может быть улучшена по сравнению с обычными методами нагрева.

Влияние микроволнового облучения на активность β -глюкозидазы на стадии мацерации винограда описали Yuan, J.F. и др. [24].

Технология микроволновой обработки широко используется в пищевой промышленности благодаря преимуществам короткого времени обработки, низкому энергопотреблению, экологичности, автоматизации и оперативному анализу [25].

Импульсное электрическое поле применяется для улучшения процесса экстракции, диффузии и прессования. Данный метод сводит к минимуму разложение термостойких соединений [26].

Импульсное электрическое поле является полезным инструментом для селективного извлечения ценных соединений из различных тканей фруктов благодаря его способности размягчать и разрушать клеточные мембраны, тем самым облегчая высвобождение внутриклеточных соединений [27].

Ферментативный гидролиз (биокатализ) основан на применении биологически активных соединений (энзимов) для ускорения экстракции. Преимущества метода: быстрая кинетика протекания процесса, высокая специфичность действия, отсутствие необходимости утилизации побочных продуктов реакции, низкая энергозатратность, мягкие условия протекания процесса, экологичность. Не-

достатки: низкая стабильность в водных растворах; чувствительность к pH, температуре и концентрации солей в растворе [28-30].

Сверхкритическая флюидная экстракция дает возможность селективной экстракции. Преимуществами выступают: легкое отделение растворителя, экологичность, высокий выход конечного продукта. Недостатками являются дорогостоящее оборудование и периодичность действия. Селективное извлечение биоактивных соединений с помощью сверхкритической жидкостной экстракции изучили Aili, Q. и др. [31]. Ученые описали биоактивные соединения, извлеченные из отходов растениеводства, и предложили эффективные способы для их извлечения.

Методы экстракции, включающие отделение биологически активных частей растения от неактивных частей в зависимости от их растворимости в различных растворителях, исследовали Sharma, M. и др. [32]. Основной целью фитохимической экстракции выступило отделение растворимых метаболитов растений от нерастворимых остатков.

Экстракция с использованием ультразвука может сочетаться с другими методами, такими как экстракция со сверхкритическим CO₂, микроволнами и т.д. Был разработан эффективный метод извлечения биологически активных соединений путем сочетания экстракции с помощью ультразвука. Авторы пришли к выводу, что сочетание методов экстракции сократило время обработки и увеличило выход биологически активных соединений [27].

В работе [27] исследовали извлечение антоцианов из побочных продуктов винограда с использованием методов ультразвука и комбинации импульсного электрического поля и высокого гидростатического давления. Сочетание эффективных технологий экстракции и недорогого сырья представляет собой экологическую и экономичную альтернативу традиционным методам экстракции, которые требуют большого количества органических растворителей и длительного времени экстракции.

Замораживание-оттаивание – процедура, которая может использоваться для разрушения клеток. Медленная скорость замораживания способствует росту

крупных кристаллов льда внутри клеток, а эти крупные кристаллы ответственны за разрушение клеток. Массу из разрушенных клеток осторожно нагревают, чтобы предотвратить потерю лабильных соединений. Этот метод медленный и неэффективный, имеет высокую стоимость и, как следствие, не получил широкого коммерческого признания [33].

Рассмотренные выше методы экстракции не лишены некоторых недостатков, таких, как:

- нестабильность качества и количества; выход и состав экстракта напрямую зависят от сорта, условий выращивания, времени сбора и хранения сырья;
- низкая концентрация целевого вещества – во многих растениях целевые соединения (например, эфирные масла, алкалоиды) содержатся в очень малых количествах (менее 1%), в связи с чем требуется переработка огромных объемов сырья для получения значимого выхода;
- неполное извлечение – не все современные методы экстракции не могут извлечь 100% целевого вещества из матрицы сырья, часть его неизбежно теряется;
- высокие затраты энергии; такие методы, как СВЧ- или ультразвуковая экстракция, требуют значительных энергозатрат;
- большое количество отходов;
- использование токсичных растворителей; многие традиционные методы (например, мацерация, CO₂-экстракция) используют органические растворители (гексан, хлороформ), которые могут быть токсичны, огнеопасны и требуют сложных систем рекуперации, чтобы не наносить вред окружающей среде;
- невозможность получить новые вещества – экстракция позволяет выделить только те соединения, которые уже есть в сырье.

Избежать или минимизировать эти недостатки позволяет процесс ферментации. Ферментированные функциональные пищевые продукты, в частности, напитки, играют важную роль в питании людей, они достаточно популярны благодаря уникальным вкусовым характеристикам и полезным для здоровья свой-

ствам. Технология ферментированных (сброженных) безалкогольных напитков основана на применении растительного сырья и определенных микроорганизмов, вызывающих процесс брожения. В процессе жизнедеятельности микроорганизмов продуцируется целый комплекс полезных для организма веществ, повышающих функциональные свойства и органолептические показатели ферментированных напитков.

1.3 Микробная биотрансформация в технологии функциональных продуктов питания

Современная пищевая индустрия проходит через этап смены парадигмы – от простого удовлетворения потребностей в питании к созданию продуктов, которые целенаправленно улучшают здоровье и снижают риск заболеваний. Эти продукты известны как функциональные продукты питания. Ключевой технологией, открывающей путь к их созданию, является микробная биотрансформация – процесс направленного изменения сырья с помощью микроорганизмов (бактерий, дрожжей, грибов) или их ферментов для получения биологически активных соединений.

Микробная биотрансформация – это не просто ферментация в ее традиционном понимании (как в хлебе, сыре или вине), а достаточно сложный инструмент для модификации и обогащения пищевых матриц, повышения биодоступности нутриентов и производства совершенно новых функциональных ингредиентов [34].

В основе процесса лежит способность микроорганизмов производить широкий спектр ферментов (протеазы, липазы, амилазы, фитазы, полифенолоксидазы и др.), которые катализируют специфические реакции гидролиза, синтеза (например, экзополисахаридов, витаминов), изомеризации [34].

К преимуществам данного метода можно отнести:

- экологичность – процессы часто проходят в мягких условиях (температура, pH), что экономит энергию [35, 36];

- специфичность – ферменты микроорганизмов обладают высокой субстратной специфичностью, что позволяет проводить целевые преобразования без образования нежелательных побочных продуктов [36];

- эффективность – микроорганизмы – это самовоспроизводящиеся «биофабрики», способные быстро нарабатывать целевые вещества [34, 35];

- натуральность – получаемые ингредиенты часто могут маркироваться как «натуральные» или «полученные путем ферментации», что повышает потребительское доверие [37].

Можно отметить следующие ключевые направления применения микробной биотрансформации в функциональных продуктах.

1. Повышение питательной ценности и усвояемости:

- расщепление антинутриентов, например – фитиновая кислота в злаках и бобовых связывает важные минералы (железо, цинк, кальций); микроорганизмы, продуцирующие фитазу, эффективно разрушают ее, высвобождая микроэлементы и повышая их биодоступность [38];

- увеличение содержания витаминов; многие пробиотические штаммы (например, *Lactobacillus* и *Bifidobacterium*) способны синтезировать витамины группы В (В9 – фолаты, В12, В2) и витамин К в процессе ферментации продуктов [34];

- молочнокислые бактерии в процессе ферментации молока расщепляют лактозу, делая продукты доступными для людей с ее непереносимостью. Также частично гидролизуют белки казеина, улучшая их усвоение и снижая аллергенность [39]; .

2. Производство биологически активных соединений.

При ферментации молока, сои или злаков микробные протеазы расщепляют белки с высвобождением пептидов, обладающих доказанной активностью: антигипертензивной (ингибируют АПФ), антиоксидантной, иммуномодулирующей и антимикробной; например, пептиды, полученные при ферментации моло-

ка лактобациллами, содержатся в функциональных напитках и продуктах для кардиологических больных.

Некоторые виды микроводорослей и грибов используются для промышленного производства длинноцепочечных ПНЖК, таких как докозагексаеновая кислота (DHA) и эйкозапентаеновая кислота (EPA), которые затем добавляются в детские смеси, молоко и хлебобулочные изделия [40, 41].

Микроорганизмы способны производить неперевариваемые олигосахариды (например, галактоолигосахариды, фруктоолигосахариды), которые служат пищей для полезной микрофлоры кишечника. Эти пребиотики добавляются в йогурты, каши и напитки [38].

3. Улучшение органолептических свойств и текстуры.

Молочнокислые бактерии продуцируют бактериоцины (например, низин) – природные консерванты, подавляющие рост патогенной микрофлоры фактически обеспечивая процессы биоконсервации [42]; .

Дрожжи и грибы используются для биосинтеза натуральных вкусоароматических соединений (ванилин, диацетил) и пигментов (астаксантин, β -каротин).

Продуцируемые бактериями экзополисахариды (например, декстраны, ксантановая камедь) выступают в роли натуральных загустителей и стабилизаторов, улучшая консистенцию продуктов [43].

4. Детоксикация и улучшение безопасности.

Некоторые микроорганизмы способны разрушать или сорбировать микотоксины (яды плесневых грибов) в зерне, а также снижать уровень аллергенов в пищевых продуктах [44].

В качестве примеров функциональных продуктов, созданных с помощью биотрансформации, можно назвать:

- ферментированные молочные продукты – йогурты, кефир, айран, обогащенные пробиотиками и биоактивными пептидами;
- функциональные хлебобулочные изделия – хлеб на закваске с повышенной усвояемостью минералов и пониженным гликемическим индексом;

- напитки на основе ферментированных злаков и сои – пуэр, комбуча, ферментированные соевые напитки (темпе), богатые изофлавонами в более биодоступной форме;
- обогащенные продукты – соки, обогащенные витаминами, произведенными микробиологическим путем.

Традиционно возбудителем брожения являются дрожжи, применяемые для производства безалкогольных и слабоалкогольных напитков, широко известны молочнокислые бактерии, вызывающие молочнокислое брожение при производстве напитков на молочной основе. Для производства кисломолочной продукции используются симбиотические заквасочные культуры, представляющие собой симбиоз бактерий, дрожжей, т.е. зооглей. Наиболее распространенным видом зооглей являются кефирные грибки.

Менее известными и популярными являются напитки на основе полисимбиотической культуры нетрадиционного брожения *Orizamyces indicis*, известной под названием «рисовый гриб», в состав которой входят дрожжи (*Zygosaccharomyces fermentati Naga-nishi*, *Pichia membranaefaciens Hansen*), молочнокислые бактерии (*Lactobacillus paracasei subsp. paracasei*, *Leuconostoc mesenteroides subsp. dextranicum*), уксуснокислые бактерии (*Acetobacter aceti*) [45, 46].

В ходе процессов брожения *Orizamyces indicis* образуется целый ряд биологически активных веществ (витамины, аминокислоты, органические кислоты, минеральные вещества и т.д.), необходимых для нормального функционирования человеческого организма, что в итоге придает сброженным напиткам повышенную биологическую ценность и лечебно-профилактические свойства [47, 48].

Систематическое употребление функционального ферментированного продукта укрепляет иммунитет, помогает при дисбактериозе, гастрите, болезнях печени и почек, атеросклерозе, гипертонии, заболеваниях ЖКТ, бронхите, спо-

способствует снижению уровня холестерина, укреплению сосудов, защите от сердечных заболеваний, аллергических реакций. [49, 50].

Известен способ производства закваски рисового гриба на молоке, т.е. на среде, которая содержит лактозу, а не сахарозу [45]. Разработаны способы производства безалкогольных газированных напитков с применением рисового гриба на молочной основе [51]. В нескольких работах [51-56] определена возможность применения полисимбиотической культуры *Orizamyces indicī* в производстве функциональных ферментированных безалкогольных напитков с применением в качестве субстрата плодово-ягодного сырья. В рецептурах использовались соки клюквы, черноплодной рябины, вишни, ирги, облепихи, смородины. Разработанные напитки обладали привлекательными органолептическими свойствами, повышенной биологической и пищевой ценностью.

Особый интерес представляет способ применения *Orizamyces indicī* для сбраживания субстрата на основе натурального яблочного сока, отличающегося высокой пищевой и биологической ценностью. Полученный напиток обладает высокими вкусовыми качествами, ароматом смешанного брожения и выраженным ароматом яблочного сырья, что является привлекательным для потребителей [52, 57].

Известны способы производства безалкогольных газированных напитков с применением *Orizamyces indicī* для дальнейшего использования в квасном и спиртовом производстве. При производстве кваса классическими культурами являются чистые культуры квасных дрожжей и молочнокислые бактерии. Проведены исследования, в которых отмечена возможность применения поликультуры рисового гриба, с целью выделения молочнокислых бактерий для дальнейшего производства хлебного кваса с поддержанием бродильной активности и синтеза биологически активных веществ на высоком уровне [58].

Orizamyces indicī применяли в спиртовом производстве для повышения эффективности сбраживания спиртового сусла. Был осуществлен поиск новых рас дрожжей, которые обладают высокой осмофильностью, термотолерантностью и бродильной активностью, с целью уменьшения летучих компонентов, по-

вышения эфирных компонентов, влияющих на аромат и вкус спирта, повышения крепости зрелой бражки, снижения себестоимости производства. Установлено практическое применение дрожжей из полисимбиотической культуры *Orizamyces indicii* для повышения эффективности в спиртовом производстве [59].

Исследуя научную литературу с точки зрения микробиологической характеристики зооглеи *Orizamyces indicii*, можно отметить следующее. *Orizamyces indicii* представляет собой эволюционно сложившуюся ассоциацию различных таксономических групп микроорганизмов: дрожжей, молочнокислых и уксуснокислых бактерий. Благодаря своему разнообразному составу микроорганизмов *Orizamyces indicii* способен осуществлять сразу три вида брожения: спиртовое, молочнокислое и уксуснокислое [60].

Известно исследование [51], в котором сравнили микрофлору рисового гриба и кефирной закваски. Выявлено, что содержание как мезофильных, так термофильных молочнокислых бактерий в культурах рисового гриба и кефирной закваски практически одинаково, т.е. аналогично кефирной закваске, а вот уксуснокислых бактерий и дрожжей в *Orizamyces indicii* сравнительно ниже.

В таблице 1.1 представлена количественная характеристика микроорганизмов, содержащихся в *Orizamyces indicii*.

Таблица 1.1 – Содержание микроорганизмов в полисимбиотической культуре *Orizamyces indicii*, КОЕ/см³

Культура	Микроорганизмы			
	мезофильные молочнокислые бактерии	термофильные молочнокислые бактерии	уксуснокислые бактерии	дрожжи
<i>Orizamyces indicii</i>	$1,2 \times 10^8$	$2,8 \times 10^7$	10^3	$1,1 \times 10^4$

Дрожжи полисимбиотической культуры *Orizamyces indicii* представлены двумя видами: *Zygosaccharomyces fermentati* Naganishi и *Pichia membranaefaciens* Hansen, молочнокислые бактерии – двумя видами: *Lactobacillus paracasei* subsp.

paracasei и *Leuconostoc mesenteroides subsp. dextranicum*, уксуснокислые бактерии – одним видом: *Acetobacter aceti* [46, 57, 58, 61].

Оценивая морфологическую характеристику дрожжей, можно сказать, что микроорганизмы имеют разную форму. Так, дрожжи первого вида отличаются круглой, слегка овальной формой, второго вида – круглой, удлинённой формой. Размножение двух видов дрожжей происходит мультиполярным почкованием (почки развиваются в любом месте материнской клетки) [61]. Василенко, З.В. и др. отметили в своем исследовании, что наиболее активный рост дрожжей наблюдается при температуре 30–35 °С, при этом дрожжи не растут в среде без витаминов [59].

В целом, на рост микроорганизмов *Orizamyces indicī* оказывают влияние следующие параметры культуральной среды: начальная концентрация сахарозы, кислорода, кислот, биомасса, способность ферментировать углеводы [62, 63].

Микроорганизмы *Orizamyces indicī* в процессе жизнедеятельности потребляют углеводы, входящие в состав сред для культивирования (растительное сырьё, сахароза), и, одновременно с этим, вырабатывают большое количество биологически ценных веществ, в частности, кислот, которые стремительно повышают pH среды [46]. В таблице 2 представлены химические вещества, которые дрожжи сбраживают (или не сбраживают) в процессе своей жизнедеятельности.

Федорова Р.А. и др. [63] при разработке напитка брожения на основе *Orizamyces indicī* отмечают, что благодаря наличию растворённого кислорода в питательной среде, микроорганизмами синтезируются кислоты низкой и высокой активности.

Уксуснокислые бактерии (*Acetobacter aceti*) и молочнокислые бактерии (*Lactobacillus paracasei subsp. paracasei* и *Leuconostoc mesenteroides subsp. dextranicum*) накапливают различные органические кислоты, в частности, уксусную и молочную, соответственно. Накопление уксусной кислоты придает питательным средам сильный уксуснокислый аромат ферментации.

В таблице 1.2 представлены вещества, сбраживаемые и не сбраживаемые дрожжами, содержащимися в симбиотической поликультуре *Orizamyces indicī*.

Таблица 1.2 – Вещества, сбраживаемые/несбраживаемые дрожжами [47]

Вид микроорганизмов	Дрожжи	
	<i>Zygosaccharomyces fermentati</i> Naganishi	<i>Pichia membranaefaciens</i> Hansen
Ассимилируют (сбраживают)	Глюкоза, галактоза, L-сорбоза, сахароза, мальтоза, целлобиоза, трегалоза, раффиноза, мелецитоза, инулин, этанол, маннит, сорбит, α-метил-D-глюкозид, салицин, молочная и янтарная кислоты	Глюкоза, этанол, глицерин
Не ассимилируют (не сбраживают)	Лактоза, мелибиоза, крахмал растворимый, D-ксилоза, L-арабиноза, D-арабиноза, D-рибоза, L-рамноза, глицерин, эритрит, рибит, дульцит, маннит, лимонную кислота, инозит.	Галактоза, L-сорбоза, сахароза, мальтоза, целлобиоза, трегалоза, лактоза, мелибиоза, раффиноза, мелецитоза, инулин, крахмал растворимый, D-ксилоза, L-арабиноза, D-арабиноза, рибоза, L-рамноза, эритрит, рибит, дульцит, маннит, сорбит, α-метил-D-глюкозид, салицин, молочная, янтарная, лимонная кислоты

Во время жизнедеятельности бактерий образуются кислоты: пировиноградная, уроновая, глюкуроновая, п-кумаровая, щавелевая, лимонная и др. [64].

Королева Л.М. и др. [47] отмечают, что *Orizomyces indicis* проявляет различную степень устойчивости к антибиотикам (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Устойчивость *Orizomyces indicis* к антибиотикам [47]

Степень устойчивости	Антибиотики
Высокая устойчивость	Оксациллин, неомицин, канамицин, гентамицин, тобрамицин, микомин, цесепим, фуразолидон, ванкомицин, имипенем, нистатин
Незначительная чувствительность	Ципрофлоксацин, норфлоксацин
Высокая чувствительность	Ампициллин, карбенициллин, эритромицин, олеандомицин, линкомицин, клиндамицин, тетрациклин, цефтазидим, левомецетин, рифамицин

При изучении влияния ферментированных напитков на работу кишечника, Степанова, А.А. и Асякина, Л.К. установили, что *Orizomyces indicis* проявляют подавляющее действие на такие условно-патогенные микроорганизмы, как

Staphylococcus aureus, *Proteus vulgaris*, *Klebsiella pneumonia*, *Salmoella enterica* и др., которые способны вызывать пищевое отравление [60].

Исходя из данных литературных источников, можно сделать вывод, что *Orizamyces indicis* может культивироваться в различных средах, которыми являются: раствор сахарозы в различных концентрациях от 1 до 15 %, раствор, содержащий лактозу (творожная сыворотка, молоко пастеризованное, молоко цельное стерилизованное), раствор сахарозы с растительными компонентами (курага, чернослив, изюм, инжир), а также с использованием сока ягод (клюквенный) [52, 57, 65, 66].

Шевцова и др. [65], изучая кинетику развития, доказали, что особенности культивирования *Orizamyces indicis* напрямую связаны с его составом. *Orizamyces indicis* относится к анаэробам, вследствие чего его выращивают в емкостях без перемешивания.

Ученые отметили и то, что в процессе культивирования *Orizamyces indicis*, в отличие от чайного гриба, на поверхности питательной среды не образуется пленка. «Зерна» *Orizamyces indicis* в течение всего периода роста находятся на дне емкости. В то же время, поликультура частично поглощает кислород, растворенный в питательной среде, в результате чего изменяется концентрация кислорода в полисимбиотической культуре *Orizamyces indicis* [67].

Ученые отмечают, что в начале процесса культивирования размеры «зерен» *Orizamyces indicis* составляют до 5-6 мм, в течении роста их диаметр может увеличиваться до 4-5 см. Скорость роста *Orizamyces indicis* невысокая, поэтому максимальная масса его достигается от 25-30 дней до нескольких месяцев [64, 66]. Оптимальной температурой для развития полисимбиотической культуры *Orizamyces indicis* является 20–30 °C [45].

Работы Зинцовой Ю.С. и др. [45, 51, 52, 67] направлены на изучение и описание процесса жизнедеятельности *Orizamyces indicis* в растворах сахарозы различной концентрации с добавлением изюма, который является традиционным способом выращивания *Orizamyces indicis*.

Проведенный анализ современных направлений применения микробной биотрансформации в технологии функциональных продуктов питания выявил значительный потенциал полисимбиотической культуры *Orizamyces indicii*. Несмотря на уникальный состав микроорганизмов, сочетающий молочнокислое, спиртовое и уксуснокислое брожение, и доказанную способность продуцировать широкий спектр биологически активных веществ, данный объект остается недостаточно изученным и не нашел широкого промышленного применения.

Необходимость дальнейших исследований обусловлена следующими ключевыми факторами. Недостаточная изученность физиологии и кинетики роста. Требуются углубленные исследования по оптимизации параметров культивирования *Orizamyces indicii* в контексте ферментации выжимок винограда (температура, pH, концентрация субстрата, аэрация) для максимального выхода целевых метаболитов и биомассы в контролируемых промышленных условиях.

Полифенольный комплекс выжимок винограда может служить не только субстратом, но и стимулятором роста для микроорганизмов консорциума. В свою очередь, ферментативная активность *Orizamyces indicii* способна модифицировать структуру полифенолов, повышая их биологическую активность, и обогащать экстракт новыми ценными метаболитами (органические кислоты, витамины, экзополисахариды), обеспечивая синергизм субстрата и метаболического потенциала культуры.

Направленная биотрансформация экстрактов выжимок позволит разработать линейку новых функциональных продуктов (напитки, пищевые добавки, основы для кондитерских изделий) с уникальным составом, сочетающих антиоксидантные свойства виноградных полифенолов и пробиотически-пребиотический комплекс, продуцируемый культурой. Для промышленного внедрения необходима стандартизация и масштабирование процесса, разработка технологического регламента ферментации выжимок винограда, включая подбор стандартизированных заквасочных культур и методов контроля стабильности процессов и целевых показателей качества готового продукта.

Таким образом, комплексное исследование процесса ферментации экстрактов выжимок винограда с использованием *Orizamyces indici* является научно и практически обоснованным. Данное направление не только раскрывает потенциал уникального микробного консорциума, но и соответствует принципам устойчивого развития, позволяя создавать высокоценные функциональные ингредиенты из вторичного сырья винодельческой промышленности. Успешная реализация данной работы позволит создать основу для новых биотехнологий в пищевой индустрии.

1.4 Математическое моделирование в оптимизации процессов пищевых производств

Современная пищевая промышленность демонстрирует устойчивую тенденцию к расширению применения математических методов. Данная необходимость продиктована возрастающей сложностью технологических процессов, где даже единичная некорректная оценка может повлечь за собой существенные финансовые издержки. Минимизировать подобные риски позволяет внедрение строгих количественных методов анализа, базирующихся на математическом описании физико-химических закономерностей. Формализация технологических задач в виде математических моделей не только способствует более глубокому пониманию их сути, но и оптимизирует временные и материальные ресурсы, затрачиваемые на поиск решений.

На сегодняшний день математическое моделирование стало ключевым элементом в процессах разработки рецептур, подбора ингредиентов и создания технологий для широкого спектра продуктов. Этот инструмент обеспечивает снижение трудоемкости исследований, способствует принятию более обоснованных и эффективных решений в области производства продуктов питания, включая специализированные функциональные продукты [68].

Разработкой математических моделей оптимизации пищевых технологий занимались такие исследователи, как Н.Н. Липатов (мл.), П.А. Лисин, Н.В. Дон-

ских, Л.С. Зеленина, Е.И. Муратова и другие [69-75]. Анализ научных публикаций позволил выделить наиболее перспективные направления в этой области:

- экспериментально-статистическое моделирование (Липатов Н.Н.) [69];
- линейное программирование (Лисин П.А., Борисенко А.А., Муратова Е.И., Толстых С.Г.) [70, 71, 74];
- объектно-ориентированный подход (Донских Н.В.) [72];
- нечетко-множественные модели (Муратова Е.И., Толстых С.Г.) [74];
- нейросетевые методы (Лоза А.А., Муратова Е.И., Толстых С.Г.) [74].

Экспериментально-статистическое моделирование. Данный подход предполагает выделение ключевого нутриента и оптимизацию его содержания в продукте. Для обработки данных применяется регрессионный анализ методом наименьших квадратов [69, 76, 77]. На основе экспериментальных результатов формируется матрица данных (рисунок 1.2), где:

$x_1...x_k$ – количественные показатели рецептурных компонентов;

$y^{\text{эксп}}$ – экспериментально измеренное содержание нормируемого вещества.

№	x_1	x_2	...	x_k	$y^{\text{эксп}}$
1	x_{11}	x_{21}	...	x_{k1}	y_1
2	x_{12}	x_{22}	...	x_{k2}	y_2
...	...	...	...	...	...
N	x_{1N}	x_{2N}	...	x_{kN}	y_N

Рисунок 1.2 – Экспериментально-статистическое моделирование

Прогнозирование выполняется по уравнению:

$$y_{\text{расч}} = f(x_1, x_2, \dots, x_k, b_0, b_1, \dots, b_i) \quad (1.1)$$

При этом использование метода наименьших квадратов обусловлено задачей подбора таких значений коэффициентов $b_0, b_1, \dots, b_i$, которые бы минимизировали расхождения с экспериментальными данными.

$$Q = \sum_{i=1}^N (y_i^{\text{эксп}} - y_i^{\text{расч}})^2 \rightarrow \min \quad (1.2)$$

Следовательно:

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial b_0} = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial b_1} = 0 \\ \dots \\ \frac{\partial Q}{\partial b_i} = 0 \end{cases} \quad (1.3)$$

В результате строится система линейных уравнений (1.4), по которым и осуществляется прогнозирование:

$$\begin{aligned} y &= a + bx \\ b_0 &= a, f_0 = 1 \\ b_1 &= b, f_1 = x \end{aligned} \quad (1.4)$$

Основной недостаток метода – необходимость проведения многочисленных лабораторных анализов.

В случае, когда отклик в исследуемой области удастся аппроксимировать квадратичным полиномом, для определения всех коэффициентов регрессии необходимо, чтобы каждый фактор был задан не менее чем на трех уровнях. Для таких задач рационально использовать центральное композиционное планирование (ЦКП) второго порядка [78]. ЦКП формируется достройкой дополнительных точек к ядру — плану полного факторного эксперимента типа 2^k . Для двух факторов ЦКП второго порядка представлено на рисунке 1.3 и в таблице 1.4.

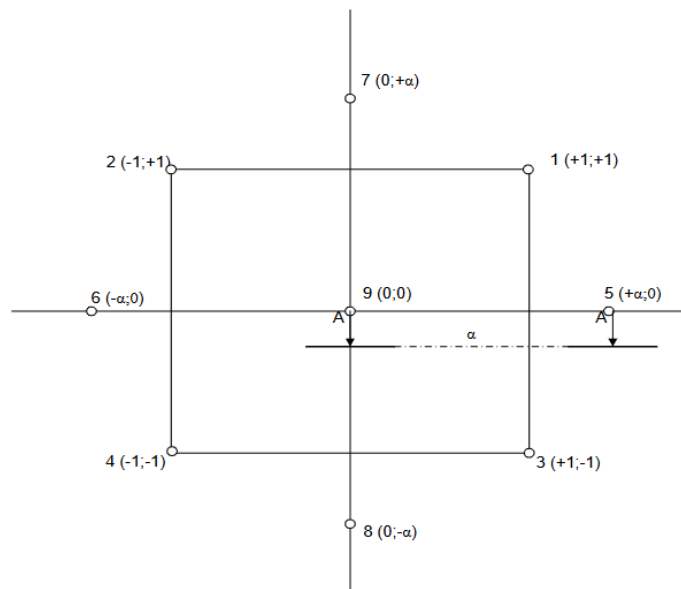


Рисунок 1.3 – Схема ЦКП второго порядка для двух факторов

Таблица 1.4 – Матрица ЦКП второго порядка для двух факторов

Содержание плана	Номер опыта	X_0	X_1	X_2	X_1X_2	X_1^2	X_2^2	Y
План типа 2^2	1	+	+	+	+	+	+	Y_1
	2	+	–	+	–	+	+	Y_2
	3	+	+	–	–	+	+	Y_3
	4	+	–	–	+	+	+	Y_4
«Звездные» точки	5	+	$+\alpha$	0	0	α^2	0	Y_5
	6	+	$-\alpha$	0	0	α^2	0	Y_6
	7	+	0	$+\alpha$	0	0	α^2	Y_7
	8	+	0	$-\alpha$	0	0	α^2	Y_8
Нулевая точка	9	+	0	0	0	0	0	Y_9

Общее число опытов ЦКП второго порядка определяется по выражению:

$$N = 2^k + 2k + m_0$$

Величину «звездного» плеча α и число опытов m_0 в центре плана выбирают в зависимости от принятого критерия оптимальности.

В качестве примера реализации методов экспериментально-статистического моделирования можно привести работу Липатова Н.Н. [69], в которой он предлагает методику обоснования сбалансированных пищевых рационов. Автор разрабатывает методику проектирования сбалансированных пищевых рационов, предлагая в качестве наиболее реализуемого подхода ее использование для мясных продуктов. Эти продукты предназначены для групп населения, сгруппированных по определенному признаку, питающихся централизованно. Суть метода заключается в следующем: сначала вычисляется содержание белка и незаменимых аминокислот во всем рационе однократного приема пищи, за исключением мясного изделия. Затем определяется дефицит белка, который и должен быть восполнен за счет включения в рацион мясного продукта с заданными характеристиками.

Также в качестве одного из направлений использования экспериментально-статистического и регрессионного моделирования следует отметить анализ органолептических показателей пищевых продуктов [76]. Согласно авторам, сенсорный анализ пищевых продуктов представляет собой системный процесс сбора данных, состоящий из двух ключевых стадий - планирования эксперимен-

та и последующей интерпретации полученных результатов. Выбор методики анализа напрямую определяет возможность выявления взаимосвязей между свойствами продукта и восприятием потребителя. При этом, наряду с традиционными подходами, основанными на классическом планировании экспериментов и линейной статистике, появляются более совершенные альтернативы. Компьютерные методы, такие как оптимальное планирование экспериментов и искусственные нейронные сети, способны дополнить и усилить традиционный арсенал, устраняя его ограничения за счет работы со сложными нелинейными зависимостями.

В исследовании Martens M., Tenenhaus M., Vinzi V.T. и соавторов рассматривается применение регрессии на основе частичных наименьших квадратов (PLS) в задачах разработки новых пищевых продуктов [77]. Авторы демонстрируют, как PLS-регрессия позволяет выявлять сложные взаимосвязи между различными наборами данных – от характеристик сырья до потребительских предпочтений, – что создает основу для целенаправленной оптимизации рецептур и прогнозирования коммерческого потенциала продуктов.

Использование центральных композиционных планов для оптимизации содержания питательных и функциональных свойств пищевых продуктов описано в работах [79-81].

Так, в исследовании Madrera, R., Bedriñana, R с помощью данного метода проводилась одновременная оптимизация содержания белка, растворимых и нерастворимых пищевых волокон, общего содержания фенольных соединений и антиоксидантной активности в яблочном жмыхе [79]. При этом изучались два фактора: время и температура.

Almeida E.R.V., Melo A.S., Lima A.S. был проведен обзор, посвященный применению ЦКП в качестве инструмента для оптимизации аналитических методов, чтобы повысить их точность и надежность при определении различных веществ в пищевых продуктах [80]. Описаны принципы работы ЦКП, его связь с методологией поверхности отклика, а также приведены примеры недавних ис-

следований, где этот подход успешно использовался для разработки методов анализа состава пищевых продуктов.

В работе [81] центральное композиционное планирование было применено для выявления влияния температуры и времени сушки на предварительно обработанную муку из маниоки, а также в определении оптимальных параметров этих факторов и анализе микроструктуры муки из маниоки.

Применительно к цели исследования – разработке технологии функционального безалкогольного напитка на основе микробной биотрансформации экстрактов выжимок винограда, следует отметить, что применение методов экспериментально-статистического моделирования является наиболее эффективным научным подходом для решения такой комплексной задачи. Технологический процесс при этом рассматривается как «черный ящик» с входными параметрами (факторами) и выходными параметрами (откликами), и математически описывается связь между ними.

В качестве откликов рассматриваются функциональные свойства напитка, его органолептические свойства, а также технологические показатели. А входными параметрами могут быть концентрация экстракта, температура и продолжительность ферментации, pH питательной среды и т.д.

Использование матрицы планирования экспериментов позволяет оценить влияние каждого фактора, выявить взаимодействия между факторами (например, температура и время), а также сократить общее количество экспериментов. Для каждого эксперимента измеряются все выбранные отклики. Далее проводится статистическая обработка данных, строятся математические модели (уравнения регрессии) для каждого целевого отклика и проверяется их адекватность. Построенные модели в дальнейшем позволяют построить поверхности отклика, показывающие, как изменение двух факторов при фиксации остальных влияет на целевой показатель, а также проводить многокритериальную оптимизацию.

Линейное программирование (симплекс-метод).

Метод представлен в виде задачи оптимизации (1.5):

$$\begin{aligned} \max(\min) F(x_1, x_2, \dots, x_n) &= \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \sum_{i=1}^m a_{ij} x_j &\leq b_i, i = 1, 2, \dots, m, \\ x_j &\geq 0, j = 1, 2, \dots, n, \end{aligned} \quad (1.5)$$

где $x_1, x_2, \dots, x_n$ – количество ингредиентов в рецептуре;

c_j – коэффициенты целевой функции;

a_j, b_j – ограничения по нутриентам [71, 74, 82-84].

Ограничением метода является возможная вырожденность решения, когда оптимальный вариант оказывается на границе допустимой области.

Иллюстрацией применения методов линейного программирования в пищевых технологиях является исследование Лисина П.А. и его коллег [71].

В работе Муратовой Е.И., Толстых С.Г. и др. [74] использование методов линейного программирования представлено для решения задачи разработки рецептуры мясо-молочно-растительного паштета. На этапе формирования рецептуры авторы использовали данный математический аппарат для максимизации энергетической ценности продукта.

В работах [82-84] с помощью методов линейного программирования авторами были разработаны оптимизированные рекомендации и сформированы рецептуры различных пищевых мультисмесей.

В настоящем исследовании методы линейного программирования напрямую не используются, однако применение симплекс-метода представляется целесообразным для его последующих этапов – решения задачи оптимизации рецептуры функционального напитка. Пусть необходимо найти наилучший (оптимальный) состав сырья и параметры процесса, которые минимизируют себестоимость, максимизируют содержание целевых функциональных компонентов (например, антиоксидантов) и при этом соблюдают множество технологических, санитарных и органолептических ограничений.

В качестве переменных решения (величины, которые необходимо найти), в этом случае могут быть:

- X_1 – количество экстракта выжимок винограда (мл/л сусла);
- X_2 – количество инокулята (стартовой культуры микроорганизмов), (%);
- X_3 – количество сахарозы для стимуляции роста микроорганизма (г/дм³);
- X_4 – продолжительность процесса биотрансформации (часы);
- X_5 – количество фруктового сока-подсластителя (мл/л) для коррекции вкуса.

В качестве целевой функции может выступать, например, минимизация себестоимости производства напитка либо максимизация выхода целевого вещества.

Объектно-ориентированный подход. Рецептuru представляется как иерархическая структура, где объекты могут быть как простыми ингредиентами, так и сложными полуфабрикатами. Принцип наследования позволяет модифицировать расчетные методы с учетом изменяющихся условий производства [72, 85]. Подход особенно эффективен для продуктов со сложной многоуровневой рецептурой.

В качестве примера использования объектно-ориентированного подхода можно назвать работу Донских Н.В. [72], в которой автором представлена автоматизированная система с объектно-ориентированной архитектурой. Система позволяет оперативно рассчитывать и оптимизировать рецептуры даже при нестабильных характеристиках сырья.

В работе [74] авторами описывается возможность применения объектно-ориентированного представления данных на примере автоматизированного расчета рецептуры вафельных изделий функционального назначения.

Несомненный интерес представляет исследование Ławrynowicz A., Wróblewska A. [85], где проведена формализация процесса замены ингредиентов в рецептурах и предложен объектно-ориентированный шаблон для его представления в виде онтологии. Авторы демонстрируют сценарии использования шаблона на практических примерах, а также проводят его сопоставление с существующими тематическими онтологиями.

Если рассматривать процесс разработки технологии функционального безалкогольного напитка, то здесь объектно-ориентированный подход применяется не к самой технологии производства, а к информационному моделированию процесса ее разработки и управления. Это позволяет создать гибкую, переиспользуемую и точную цифровую модель всей системы, то есть, по сути, «цифровой двойник» технологии функционального напитка. Это не просто база данных, а активная модель, которая может использоваться для симуляции, оптимизации и управления процессом разработки, существенно сокращая время и стоимость исследований. Отдельные элементы объектно-ориентированного подхода применены в данном исследовании при разработке структурно-функциональных моделей.

Нечетко-множественные модели. Используют лингвистические переменные и правила нечеткого вывода, что полезно при работе с качественными оценками (например, органолептическими показателями) [74, 86, 87]. В настоящей работе эти модели не реализованы, но могут быть перспективны для дальнейшей автоматизации сенсорного анализа.

Нейросетевые методы. Применяются для прогнозирования нелинейных зависимостей, когда классическая регрессия недостаточно эффективна [74, 88, 89]. Архитектура нейронной сети (многослойный перцептрон, LSTM и др.) подбирается под конкретную задачу. В данной работе нейросети не использовались, но они могут быть полезны для создания «цифровых двойников» процессов ферментации.

Функциональное моделирование. Для структурированного описания технологического процесса применяется нотация IDEF0 (Integration Definition for Function Modeling). Это методология функционального моделирования, используемая для создания структурной схемы системы, описывающая «что» она делает через блоки (функции) и стрелки (потoki). Основные принципы и правила IDEF0 следующие [90]:

- функциональные блоки представляют собой действия, процессы или операции, изображаются прямоугольниками и обозначаются глаголами;

- интерфейсные дуги (стрелки) отображают потоки данных или материальных объектов. Каждая сторона прямоугольника имеет свое значение и однозначно связана с одним из четырех видов стрелок (таблица 1.5) [91];
- соблюдается принцип декомпозиции, то есть сложный процесс разбивается на более простые составляющие, превращаясь в иерархическую структуру: от одной контекстной диаграммы верхнего уровня до детальных дочерних до тех пор, пока каждый блок не станет элементарно понятным;
- рекомендуются ограничения по сложности, например, размещать на одной диаграмме от 3 до 6 блоков, чтобы обеспечить читаемость модели;
- синтаксические правила предполагают использование только прямоугольных блоков и прямолинейных (горизонтальных/вертикальных) стрелок, которые не должны пересекать границы блоков.

Таблица 1.5 – Потоки данных IDEF0-моделей

Сторона прямоугольника	Категория стрелки	Значение
Верхняя	Управление	Правила, процедуры, стандарты, методы контроля
Левая	Вход	Материал или данные
Правая	Выход	Данные и материальные объекты, преобразованные функцией
Нижняя	Механизм	Ресурсы (персонал, оборудование, производственные мощности и т.д.)

Анализ литературных источников выявил практически полное отсутствие применения методик функционального моделирования в технологии разработки пищевых продуктов. Однако можно упомянуть некоторые исследования, приближенные к таковым.

Так, в работе Нициевской К.Н. [92] представлен анализ технологии производства колбасных изделий (на примере мясных хлебов) с использованием методологии IDEF0. Для обоснования подходов к управлению качеством продукции был выполнен анализ жизненного цикла изделий, сопровождающийся построением схем в соответствии с нотацией IDEF0.

В исследовании [93] с помощью системного проектирования на основе функциональных моделей авторами рассматриваются системы отслеживания пищевых продуктов. Разработанная ими методика визуализирует потоки материалов и информации по этапам и в рамках всей системы. Эта методика предлагается к использованию для реинжиниринга общей архитектуры системы отслеживания пищевых продуктов.

В статье Plaia, A. и Carrie, A. сравниваются две нотации IDEF (моделирующего и описательного типа) для представления двух различных аспектов промышленной организации: IDEF0 – метод функционального моделирования, и IDEF3 – метод описания потока процесса [94]. Делается вывод, что при рассмотрении последовательности действий в процессе с целью подчеркнуть их возможную одновременность, IDEF3 является более подходящим, поскольку он позволяет разделить поток управления из одного потока на несколько ветвей или объединить несколько ветвей в один поток. Однако, когда необходимо сосредоточить внимание на объектах, участвующих в процессе, будь то управление, ввод, вывод или механизмы, предпочтительнее использовать IDEF0.

Функциональное моделирование в данной диссертационной работе использовано для формализации процесса получения экстракта из выжимок винограда (раздел 3.3.1). Оно обеспечивает наглядность, выявление критических точек контроля и создание основы для цифровизации производства.

Таким образом, для решения задач оптимизации экстракции биологически активных веществ и микробной биотрансформации – в качестве основного математического аппарата представляют интерес метод регрессионного анализа с использованием центральных композиционных планов. Дополнительно применено функциональное моделирование IDEF0 для формализации технологической схемы (с отдельными элементами объектно-ориентированного подхода). Остальные рассмотренные методы (линейное программирование, нечеткая логика, нейронные сети) могут быть использованы на последующих этапах развития исследования.

1.5 Обоснование выбора направления исследований

Проведенный анализ показал, что, несмотря на значительный объем исследований в области переработки выжимок винограда, экстракции БАВ и применения микробной биотрансформации, существует комплексная научно-технологическая проблема. Она заключается в отсутствии целостной, научно обоснованной технологии, которая бы связывала оптимизированные параметры экстрагирования БАВ из выжимок винограда конкретных сортов с последующим процессом управляемой микробной биотрансформации для получения стандартизированного функционального безалкогольного напитка с прогнозируемыми свойствами.

К конкретным недостаткам, составляющим проблему, можно отнести:

- отсутствие системного подхода, а именно исследований, комплексно связывающих параметры экстракции (температура, время, способы интенсификации) для выжимок винограда конкретных сортов с биохимическим составом экстрактов и их пригодностью в качестве субстрата для последующей ферментации;
- недостаточная изученность процессов биотрансформации в части того, что фрагментарно изучены кинетика роста полисимбиотической культуры *Orizamyces indicus* на экстрактах выжимок винограда и закономерности биотрансформации специфического полифенольного комплекса данного сырья;
- отсутствие инструментов прогнозирования, а именно, не разработаны апробированные математические модели, позволяющие прогнозировать качественные и функциональные характеристики готового напитка на основе заданных технологических режимов на стадиях экстрагирования и ферментации.

Это не позволяет в полной мере реализовать потенциал выжимок винограда как сырья для создания импортозамещающих функциональных продуктов с управляемыми свойствами.

Основываясь на выявленной проблеме, была сформулирована научная гипотеза о том, что целенаправленное регулирование технологических режимов экстрагирования и последующей микробной биотрансформации экстрактов вы-

жимок винограда полисимбиотической культурой *Orizamyces indicī* позволит получить функциональный безалкогольный напиток с прогнозируемыми органолептическими характеристиками и повышенным содержанием биологически активных веществ. Применение математического моделирования этих процессов обеспечит оптимизацию технологии и воспроизводимость результатов на промышленном уровне.

Для проверки выдвинутой гипотезы и достижения цели работы сформулированы задачи исследования, приведенные во введении.

Выбор направления исследований научно обоснован комплексом нескольких актуальных тенденций.

Переработка вторичных ресурсов виноделия в высокомаржинальные продукты соответствует принципам циркулярной экономики и решает проблему утилизации отходов. При этом наблюдается растущий спрос на функциональные безалкогольные напитки с доказанным оздоровительным эффектом и натуральным составом.

Использование сложных полисимбиотических культур, подобных *Orizamyces indicī*, является перспективным направлением для создания продуктов с уникальным метаболическим профилем и комплексом БАВ.

Внедрение методов математического моделирования и оптимизации позволяет перейти от эмпирического к научно обоснованному проектированию пищевых технологий, что соответствует концепции Industry 4.0.

Таким образом, данное исследование направлено на решение конкретной научно-производственной проблемы путем создания замкнутого технологического цикла «отходы» – «функциональный продукт» на основе фундаментального изучения процессов и применения современных инструментов оптимизации.

2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на базе Анапской зональной опытной станции виноградарства и виноделия – (АЗОСВиВ) и отдела хранения и комплексной переработки сельскохозяйственного сырья Краснодарского научно-исследовательского института хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия» (КНИИХП – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ).

2.1 Объекты исследования

Объектами исследования являлись:

- вторичные продукты переработки винограда – выжимки, полученные при производстве виноматериалов из технических сортов винограда, культивируемых в Краснодарском крае (Анапа-Таманская зона);
- водные экстракты из выжимок винограда, полученные при различных технологических режимах;
- экстракты биотрансформированные с участием полисимбиотической культурой *Orizamyces indicis* («рисовый гриб»);
- функциональный безалкогольный напиток «Юланта-БИО», разработанный по результатам исследований.

Для сравнительного анализа использовали выжимки четырех сортов винограда в двух вариантах (сладкие и сброженные) и двух способах обеспечения сохранности (сушка и замораживание) (таблица 2.1). В связи с различным содержанием остаточной влаги в замороженных и высушенных образцах, для обеспечения корректности сравнения при экстракции использовались навески, пересчитанные на эквивалентное содержание абсолютно сухого вещества (АСВ).

Таблица 2.1 – Характеристика объектов исследования

Сорт винограда	Тип выжимок	Способ стабилизации	Обозначение образца
Саперави	Сброженные	Сушка	С-Сбр-С
Саперави	Сброженные	Замораживание	С-Сбр-З
Саперави	Сладкие	Сушка	С-Сл-С
Саперави	Сладкие	Замораживание	С-Сл-З
Каберне Совиньон	Сброженные	Сушка	КС-Сбр-С
Каберне Совиньон	Сброженные	Замораживание	КС-Сбр-З
Каберне Совиньон	Сладкие	Сушка	КС-Сл-С
Каберне Совиньон	Сладкие	Замораживание	КС-Сл-З
Цитронный Магарача	Сладкие	Сушка	ЦМ-Сл-С
Цитронный Магарача	Сладкие	Замораживание	ЦМ-Сл-З
Первенец Магарача	Сладкие	Сушка	ПМ-Сл-С
Первенец Магарача	Сладкие	Замораживание	ПМ-Сл-З

После предварительного скрининга для углубленных исследований были выбраны высушенные сброженные выжимки винограда сорта Саперави (как наиболее доступный вид сырья с высоким содержанием полифенолов) и высушенные сладкие выжимки винограда сорта Цитронный Магарача (как сырье с уникальными органолептическими свойствами).

2.2 Этапы проведения экспериментов

1. Отбор и обеспечение сохраняемости сырья: отбор выжимок винограда разных сортов, типов (сладкие/сброженные) и их консервирование сушкой или замораживанием.

2. Подготовка сырья к экстракции: доведение образцов до однородного состояния (измельчение высушенных, размораживание замороженных) с получением фракций заданного размера.

3. Получение водных экстрактов: экстрагирование биологически активных веществ при варьировании основных технологических режимов (температура, продолжительность, перемешивание, предварительная физическая обработка).

4. Математическое моделирование и оптимизация: статистическая обработка данных, построение регрессионных моделей, создание цифровых инструментов для прогнозирования и расчета параметров процессов.

5. Микробная биотрансформация экстрактов: ферментация полученных экстрактов полисимбиотической культурой *Orizamyces indicis* с изменением ключевых условий процесса (температура, время, концентрация сахарозы, дозировка инокулята).

6. Разработка рецептуры и технологии готового напитка: составление рецептурных композиций, выбор оптимального варианта, создание технической документации (ТУ, ТИ), производственная апробация.

7. Оценка качества и стабильности продукта: определение органолептических, физико-химических, микробиологических показателей, пищевой ценности, сроков годности, влияния типа упаковки.

Структурная схема исследования приведена на рисунке 2.1.

2.3 Методы исследований

Подготовка проб к анализу. Замороженные образцы размораживали при температуре 4 ± 2 °C в течение 12 ч. Высушенные образцы измельчали на лабораторной мельнице с получением фракций заданного размера (1,0; 1,5; 2,0; 3,5 мм). Для обеспечения корректности сравнения выходов биологически активных веществ при экстракции образцов с различной остаточной влажностью (высушенные и замороженные) навески сырья пересчитывали на абсолютно сухое вещество (АСВ). Массовую долю влаги определяли методом высушивания до постоянной массы при 105 °C.

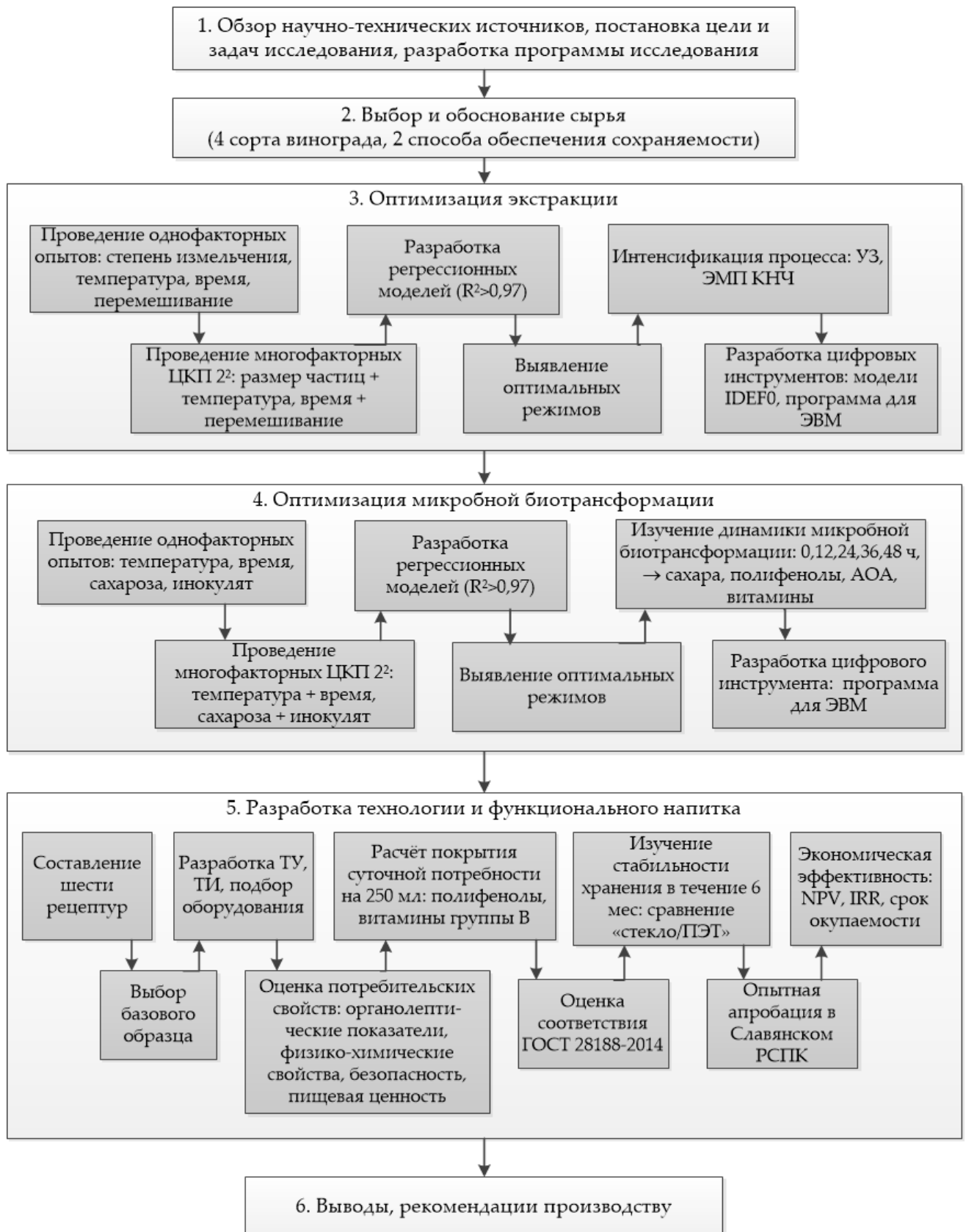


Рисунок 2.1 – Структурная схема исследований

Методы экстрагирования. Экстракцию биологически активных веществ проводили дистиллированной водой при гидромодуле 1:6 (1 часть сырья в пересчете на АСВ: 6 частей воды). Процесс осуществляли в лабораторном экстракторе с термостатированием и механическим перемешиванием. Диапазоны варьируемых параметров: степень измельчения – 1,0–3,5 мм; температура – 30–85 °С; продолжительность – 2–12 ч; скорость перемешивания – 100–300 с⁻¹. Для интенсификации процесса применяли предварительную обработку сырья ультразвуком (22 кГц, 100 Вт/л, 15 мин) или электромагнитным полем крайне низкой частоты (30 Гц, 100 А/м, 30 мин).

По завершении экстракции смесь фильтровали на вакуумной установке (вакуум 0,6–0,8 бар, температура 20±2 °С). Полученный экстракт использовали для дальнейших исследований.

Методы микробной биотрансформации. Для ферментации использовали полисимбиотическую культуру *Orizamyces indicī* (штамм выделен из коммерческой закваски, верифицирован в микробиологической лаборатории КНИИХП). Состав ассоциации: дрожжи *Zygosaccharomyces fermentati* и *Pichia membranaefaciens*, молочнокислые бактерии *Lactobacillus paracasei* и *Leuconostoc mesenteroides*, уксуснокислые бактерии *Acetobacter aceti*.

Активацию биокультуры проводили в стерильном растворе сахарозы (5 %) при 25 °С в течение 24 ч. Полученную биомассу отделяли фильтрацией, промывали и вносили в экстракт. Параметры ферментации устанавливали в ходе однофакторных и многофакторных экспериментов. Базовые условия культивирования: температура 30 °С, продолжительность 48 ч, начальная концентрация сахарозы 70 г/дм³, дозировка инокулята 5,5 % от объема среды, начальный рН 4,5. Ферментацию проводили в стеклянных емкостях без принудительного перемешивания, что соответствует физиологии культуры.

Прирост биомассы *Orizamyces indicī* определяли гравиметрически: биомассу отделяли фильтрованием, высушивали до постоянной массы при 105 °С и рассчитывали прирост по формуле:

$$\Delta B = (B_k - B_0) / B_0 \times 100\%, \quad (2.1)$$

где B_k и B_0 – конечная и начальная сухая биомасса, г/дм³.

Физико-химические методы анализа. Массовую концентрацию растворимых сухих веществ определяли рефрактометрическим методом при 20 °С по ГОСТ 6687.2-90. [95].

Массовую концентрацию титруемых кислот определяли методом титрования 0,1 н раствором NaOH с фенолфталеином; для экстрактов, в том числе биотрансформированных – в пересчете на винную кислоту по ГОСТ 32114-2013, для готового напитка – по ГОСТ 6687.4-86. [96, 97].

pH измеряли потенциометрически на pH-метре pH-150МИ (Россия) по ГОСТ 32000-2012 [98].

Общие и редуцирующие сахара. Массовую концентрацию общих и редуцирующих сахаров определяли методом прямого титрования по Бертрону (йодометрический метод) по ГОСТ 8756.13-87 [99].

Массовую концентрацию полифенольных соединений определяли спектрофотометрически с реактивом Фолина–Чокальтеу (длина волны 765 нм, калибровка по галловой кислоте). Флавоноиды – с хлоридом алюминия (калибровка по катехину), антоцианы – методом pH-дифференциальной спектрофотометрии [100].

Массовую концентрацию витамина С (аскорбиновая кислота) определяли титриметрическим методом с использованием 2,6-дихлорфенолиндофенолята натрия (краска Тильманса) по ГОСТ 24556-89 [101].

Содержание витаминов группы В (В₁, В₂, В₃, В₅, В₆, В₇, В₉) определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе Agilent 1260 Infinity с флуориметрическим и диодно-матричным детектированием.

Антиоксидантная активность оценивалась методом TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) с использованием ABTS-катион-радикала. Результаты выражали в ммоль тролокса/дм³.

Объемную долю этилового спирта определяли методом дистилляции с последующей рефрактометрией по ГОСТ 32095-2013 [102].

При разработке функционального напитка качество основного и вспомогательного сырья соответствовало требованиям действующей нормативно-технической документации: сахар белый – ГОСТ 33222-2015 [103], фруктоза – ТУ производителя (контроль по ГОСТ Р 51240-98 [104]), экстракт цитрусовых – ТУ производителя, экстракт пряностей – ТУ производителя (контроль по ГОСТ ISO 1108-2018 [105]), концентрат ягодный – ГОСТ 18192-72 [106], пектин яблочный – ГОСТ 29186-91 [107], мальтодекстрин – ГОСТ 34274-2017 [108]. Поставщики сырья – ведущие российские предприятия (ООО «НПК ТехноФарм-Синтез», АО «Гулькевичский крахмальный завод», ГК «ПЕТРОДИЕТ», «Сады Придонья»).

Методы оценки органолептических показателей. Органолептическую оценку проводили дифференцированно в зависимости от объекта исследования. Для экстрактов из выжимок винограда, в том числе полученных после биотрансформации применяли 5-балльные шкалы (Приложение А, Б), для готового напитка «Юланта-БИО» – 10-балльную шкалу (Приложение В). Шкалы разработаны с учетом ГОСТ 32051-2013, ГОСТ 28188-2014 и ГОСТ 6687.5-86 [109-111] с расширенной градацией для повышения чувствительности метода и решения задач исследования.

Все дегустации проводили в специализированном помещении, соответствующем требованиям ГОСТ 32051-2013.

Дегустационные комиссии формировали из 5 экспертов. Интегральный балл рассчитывали как среднее арифметическое оценок по показателям.

Методы оценки микробиологических показателей. Микробиологические показатели определяли в соответствии с ГОСТ ISO 7218-2015 и требованиями ТР ТС 021/2011 [112, 113]. КМАФАнМ (количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов) – методом посева на плотные питательные среды (мясо-пептонный агар), инкубация при 30 °С, 72 ч. БГКП (бактерии группы кишечных палочек) – посевом в среду Кесслера с последующим пересевом на среду Эндо. Дрожжи и плесени – посевом на среду Сабуро, инкубация при 24 °С, 5 сут. Патогенные микроорганизмы, в т.ч.

сальмонеллы – по ГОСТ 31659-2012 [114]. Пробиотические микроорганизмы (*Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Acetobacter*) – высевом на селективные среды (MRS, среда Carr) с последующей микроскопией и биохимической идентификацией.

Токсикологические показатели оценивались в соответствии с ГОСТ 30178-96 [115], ГОСТ 26930-86 [116] и ГОСТ 26927-86 [117].

Методы математического моделирования и статистической обработки. Для планирования экспериментов и обработки данных использовали методы математической статистики. В однофакторных экспериментах влияние каждого параметра оценивали при трехкратной повторности. Достоверность различий средних определяли по t-критерию Стьюдента при уровне значимости $p < 0,05$.

Для проведения многофакторных экспериментов применяли центральные композиционные ротатабельные планы для двух факторов (типа 2^2). Уравнения регрессии второго порядка получали методом наименьших квадратов:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2,$$

где x_i – кодированные значения факторов.

Значимость коэффициентов проверяли по t-критерию, адекватность моделей – по F-критерию Фишера при $p = 0,05$. Расчеты выполняли в пакетах Microsoft Excel, Statistica 12.0.

Оптимальные области факторов определяли методом наложения контуров равных значений откликов. В качестве целевых критериев выступали максимизация содержания полифенолов и редуцирующих сахаров (для экстракции) или прироста биомассы и органолептической оценки (для ферментации) с учетом технологических ограничений.

На основе полученных регрессионных моделей разработаны программы для ЭВМ, написанные на языке Object Pascal в среде Lazarus, работающие под ОС Windows.

Все анализы проводили не менее чем в трех повторностях. Результаты обрабатывали методами вариационной статистики с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel. Рассчитывали средние арифметические значения ($\bar{x}$), среднеквадратичные отклонения (σ) и доверительные интервалы при

уровне значимости $P = 0,95$. Результаты в таблицах представлены как $\bar{x} \pm \Delta\bar{x}$, где $\Delta\bar{x}$ – полуширина доверительного интервала. Достоверность различий между средними величинами оценивали по t-критерию Стьюдента. При обработке многофакторных экспериментов проверяли однородность дисперсий по критерию Кохрена, значимость коэффициентов регрессии – по t-критерию, адекватность моделей – по F-критерию Фишера. Критический уровень значимости принимали равным 0,05.

Экономическую эффективность производства оценивали в соответствии с общепринятыми методиками для инвестиционных проектов на основе результатов опытно-промышленной апробации. Калькуляцию себестоимости проводили на 100 л готового продукта. Оценку эффективности выполняли по динамическим показателям: чистый дисконтированный доход (NPV), внутренняя норма доходности (IRR), индекс рентабельности (PI), дисконтированный срок окупаемости (DPP). Ставку дисконтирования определяли методом средневзвешенной стоимости капитала (WACC). Анализ чувствительности проводили варьированием ключевых параметров проекта.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ И БИОТРАНСФОРМАЦИИ ЭКСТРАКТОВ ВЫЖИМОК ВИНОГРАДА

3.1 Обоснование выбора видов выжимок винограда для исследования

Выжимки винограда, образующиеся на разных этапах переработки, обладают широкой вариабельностью биохимического состава и стабильности. Для разработки целенаправленных технологий биотрансформации экстрактов необходимо на предварительной стадии определить те виды сырья, которые, с одной стороны, содержат представляющие интерес биологически активные вещества (БАВ) в достаточных количествах, а с другой – доступны и экономически целесообразны для крупномасштабной переработки.

В связи с этим на первом этапе работы был выполнен сравнительный скрининг экстрактов 12 вариантов выжимок, охватывающих четыре сорта винограда (Саперави, Каберне Совиньон, Цитронный Магарача, Первенец Магарача), два типа сырья (сладкие, полученные до спиртового брожения, и сброженные после ферментации) и два способа обеспечения сохранности – замораживание (-18°C) и газовая сушка (до остаточной влажности 8–10 %). Экстрагирование проводилось при следующих условиях: размер частиц $> 3,5$ мм, температура 60°C , гидромодуль 1:6, продолжительность экстракции 6 ч, скорость перемешивания 300 с^{-1} . После этого образцы выдерживались в стандартных контролируемых условиях в течение 6 месяцев.

До и после хранения в экстрактах определяли массовую концентрацию полифенольных соединений и аскорбиновой кислоты, а также массовую долю общих сахаров по стандартным методикам. Общие потери каждого компонента рассчитывали как процентное снижение концентрации относительно исходного уровня, измеренного непосредственно после стабилизации. Полученные данные сведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Общие потери БАВ после 6 месяцев хранения

Сорт винограда	Тип выжимок	Способ обеспечения сохранности	Общие потери полифенолов, %	Общие потери общих сахаров, %	Общие потери аскорбиновой кислоты, %
Саперави	Сладкие	Заморозка	$4,8 \pm 0,5$	$3,1 \pm 0,3$	$19,7 \pm 1,0$
		Сушка	$40,2 \pm 3,8$	$9,8 \pm 1,6$	$70,3 \pm 4,2$
	Сброженные	Заморозка	$5,3 \pm 0,4$	$2,9 \pm 0,3$	$20,1 \pm 1,1$
		Сушка	$36,4 \pm 3,9$	$3,0 \pm 0,3$	$74,8 \pm 4,7$
Каберне Совиньон	Сладкие	Заморозка	$5,1 \pm 0,6$	$3,2 \pm 0,3$	$19,8 \pm 0,9$
		Сушка	$44,7 \pm 3,7$	$10,1 \pm 1,7$	$72,2 \pm 4,3$
	Сброженные	Заморозка	$4,5 \pm 0,5$	$2,8 \pm 0,3$	$20,4 \pm 1,0$
		Сушка	$43,3 \pm 4,1$	$3,0 \pm 0,3$	$77,9 \pm 4,8$
Цитронный Магарача	Сладкие	Заморозка	$4,9 \pm 0,5$	$3,0 \pm 0,3$	$20,0 \pm 1,0$
		Сушка	$41,8 \pm 3,6$	$8,2 \pm 1,5$	$70,1 \pm 4,1$
Первенец Магарача	Сладкие	Заморозка	$5,5 \pm 0,4$	$2,9 \pm 0,3$	$20,2 \pm 0,9$
		Сушка	$38,2 \pm 3,5$	$7,9 \pm 1,4$	$68,4 \pm 4,0$

Анализ данных таблицы потерь выявляет полярное влияние способа обеспечения сохранности. Замораживание обеспечивает минимальные потери: для массовой концентрации полифенолов на $\leq 5,5$ %, для массовой доли общих сахаров на ~ 3 %, для массовой концентрации аскорбиновой кислоты на $19,5\text{--}20,4$ %. Газовая сушка вызывает значительную деградацию, причем для аскорбиновой кислоты потери составляют $68\text{--}78$ %, для сахаров в сладких выжимках – $8\text{--}10$ %, тогда как в сброженных образцах потери сахаров (~ 3 %) статистически незначимы. По массовой концентрации полифенольных соединений в высушенных образцах сброженные выжимки теряют на $2\text{--}5$ % меньше, чем сладкие ($36\text{--}43$ % против $38\text{--}45$ %), что подтверждает стабилизирующий эффект брожения. Сортоспецифика выражена слабо и затрагивает лишь полифенольные соединения.

Для обоснованного выбора сырья необходимы абсолютные концентрации БАВ после 6 месяцев хранения, которые приведены в таблице 3.2. Данные подтверждают, что сброженные сухие выжимки Саперави сохраняют 623 мг/дм^3 массовой концентрации полифенольных соединений при практически полном отсутствии сбраживаемых сахаров ($0,66$ %), тогда как сладкие сухие выжимки Цитронного Магарача содержат $8,1$ % общих сахаров.

Таблица 3.2 – Биохимические показатели экстрактов выжимок винограда

Сорт винограда	Способ стабилизации	Массовая концентрация полифенольных соединений, мг/дм ³	Массовая концентрация титруемых кислот, г/дм ³ (в пересчете на винную)	Массовая доля общих сахаров, %	Массовая доля растворимых сухих веществ, %	Массовая концентрация аскорбиновой кислоты, мг/дм ³
Сладкие выжимки						
Саперави	Замораживание	1068 ± 43	5,8 ± 0,1	12,5 ± 0,6	13,0 ± 0,5	4,0 ± 0,3
Саперави	Сушка	640 ± 26	5,2 ± 0,1	11,3 ± 0,5	12,0 ± 0,5	1,2 ± 0,1
Каберне Совиньон	Замораживание	931 ± 37	5,0 ± 0,1	11,2 ± 0,6	12,5 ± 0,5	3,8 ± 0,3
Каберне Совиньон	Сушка	515 ± 21	4,5 ± 0,1	10,1 ± 0,5	11,5 ± 0,5	1,1 ± 0,1
Цитронный Магарача	Замораживание	712 ± 28	3,8 ± 0,1	8,8 ± 0,6	10,0 ± 0,5	3,5 ± 0,3
Цитронный Магарача	Сушка	414 ± 17	3,4 ± 0,1	8,1 ± 0,5	9,3 ± 0,5	1,0 ± 0,1
Первенец Магарача	Замораживание	425 ± 17	3,6 ± 0,1	7,5 ± 0,6	8,5 ± 0,5	3,2 ± 0,3
Первенец Магарача	Сушка	263 ± 11	3,2 ± 0,1	6,9 ± 0,5	7,8 ± 0,5	1,0 ± 0,1
Сброженные выжимки						
Саперави	Замораживание	928 ± 37	5,5 ± 0,1	0,68 ± 0,03	2,2 ± 0,5	3,5 ± 0,3
Саперави	Сушка	623 ± 25	5,0 ± 0,1	0,66 ± 0,03	2,1 ± 0,5	0,9 ± 0,1
Каберне Совиньон	Замораживание	887 ± 35	4,8 ± 0,1	0,44 ± 0,03	1,8 ± 0,5	3,2 ± 0,3
Каберне Совиньон	Сушка	503 ± 20	4,3 ± 0,1	0,43 ± 0,03	1,7 ± 0,5	0,7 ± 0,1

Таким образом, выбранные объекты представляют собой контрастные субстраты – полифенольный концентрат и углеводсодержащую матрицу, пригодную для прямой микробной биотрансформации. Экономическая эффективность методов стабилизации количественно сопоставлена в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Техничко-экономические показатели методов стабилизации выжимок (в расчете на 1 т исходного сырья)

Показатель	Заморозка (–18 °С)	Сушка (газовая)
Капитальные затраты (амортизация), руб.	3 250	2 100
Энергозатраты на стабилизацию, руб.	864	848
Затраты на хранение 6 мес., руб.	5 616	648
Транспортные расходы, руб.	5 000	0
Трудозатраты, руб.	1 200	900
Суммарные операционные затраты, руб.	15 930	4 496
Массовая концентрация полифенольных соединений через 6 мес., г/т исх. сырья	3 374	1 836
Себестоимость 1 г полифенольных соединений, руб.	4,72	2,45

Данные таблицы наглядно демонстрируют экономическое преимущество сушки. Суммарные операционные затраты при использовании замораживания (15 930 руб./т) в 3,5 раза превышают аналогичный показатель для сушки (4 496 руб./т). Основной вклад в себестоимость заморозки вносят расходы на низкотемпературное хранение (5 616 руб.) и необходимость транспортировки в рефрижераторах (5 000 руб.), тогда как высушенный продукт не требует специального температурного режима ни при хранении, ни при перевозке.

Несмотря на то, что массовая концентрация полифенольных соединений через 6 месяцев при замораживании выше (3 374 г/т против 1 836 г/т), более низкие операционные затраты при сушке обеспечивают почти двукратное снижение себестоимости 1 г целевого продукта – 2,45 руб. против 4,72 руб. Это означает, что даже с учетом потерь, зафиксированных в таблицах 3.1 и 3.2, сушка остается предпочтительным выбором.

Проведенный совместный анализ биохимических показателей сохранности (таблицы 3.1, 3.2) и технико-экономических характеристик (таблица 3.3) позволяет сделать заключение о том, что сушка является экономически целесообразным и технологически приемлемым методом стабилизации, обеспечивающим после 6 месяцев хранения остаточное содержание полифенольных соединений, достаточное для получения коммерчески значимых экстрактов. Внутри группы высушенных образцов сброженные выжимки Саперави выделяются мак-

симальной концентрацией полифенолов (623 мг/дм³) и пониженными относительными потерями фенольных соединений (36 %), что в сочетании с минимальной себестоимостью делает их оптимальным источником фенольных антиоксидантов. Сладкие высушенные выжимки Цитронного Магарача, сохраняя около 8 % массовой доли общих сахаров, представляют собой готовый углеводный субстрат для микробиологической биотрансформации, при этом их переработка также укладывается в экономически эффективную модель сушки. Таким образом, для дальнейших экспериментальных исследований в области получения и биотрансформации экстрактов виноградных выжимок обоснованно выбраны два объекта: сброженные сухие выжимки сорта Саперави и сладкие сухие выжимки сорта Цитронный Магарача.

3.2 Исследование влияния вида выжимок винограда и технологических режимов на процесс экстрагирования

3.2.1 Исследование влияния степени измельчения выжимок винограда и температуры экстрагирования на органолептические показатели и биохимический состав экстрактов

Для определения технологических режимов, обеспечивающих максимальное извлечение полифенольных соединений и сахаров при сохранении высоких органолептических свойств, было проведено исследование влияния двух ключевых факторов – степени измельчения сырья и температуры экстрагирования.

Выжимки винограда измельчали и разделяли на фракции со средним размером частиц 1,0; 2,0 и 3,5 мм. Контроль представлял собой немолотое сырье с размером частиц более 3,5 мм. Экстракцию выполняли при температуре 60 °С.

Результаты органолептической оценки образцов экстрактов выжимок винограда различной степени измельчения приведены на рисунке 3.1.

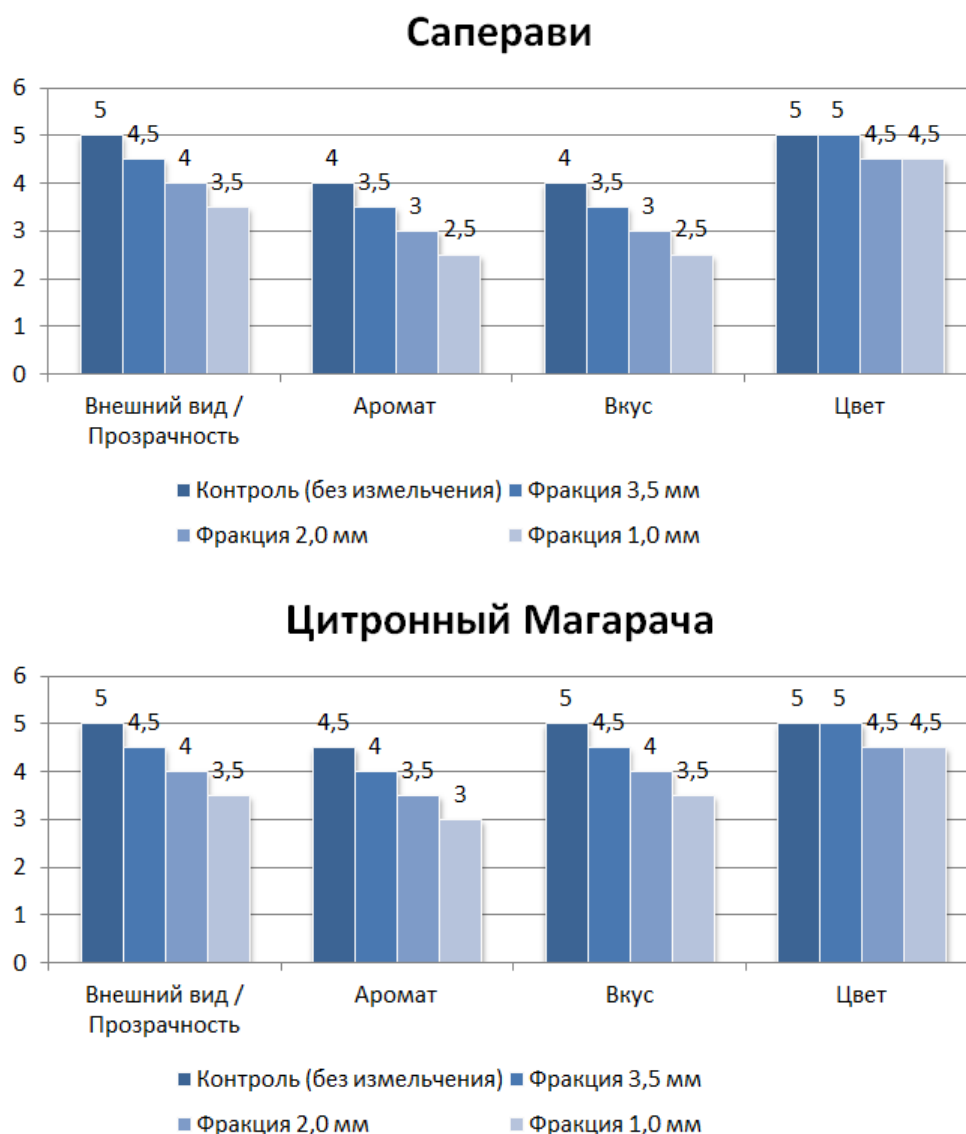


Рисунок 3.1 – Органолептические показатели экстрактов выжимок винограда в зависимости от степени измельчения выжимок

Для обоих сортов винограда установлена обратная зависимость между степенью измельчения и органолептическими характеристиками. Наибольшее снижение показателей наблюдается по параметрам «Внешний вид / Прозрачность» и «Вкус», что обусловлено увеличением количества взвешенных частиц и интенсификацией экстракции полифенольных соединений, придающих излишнюю терпкость.

Цветовая характеристика демонстрирует наибольшую стабильность, при этом для фракций 1,0 мм и 2,0 мм наблюдается незначительное снижение интенсивности окраски на 0,5 балла относительно контрольных образцов.

Сорт Цитронный Магараха сохраняет более высокие органолептические показатели при всех степенях измельчения по сравнению с Саперави, что соответствует его лучшим исходным характеристикам. Разница между сортами наиболее выражена по параметрам «Аромат» и «Вкус», где преимущество Цитронного Магараха составляет 0,5-1,0 балла.

Органолептическая оценка показала, что наилучшие показатели «внешний вид/прозрачность» и «вкус» соответствуют фракциям 2,0 и 3,5 мм. Наиболее мелкое измельчение (1,0 мм) приводит к появлению излишней терпкости и помутнению, что снижает дегустационные баллы до 4,0 против 5,0 у фракции 2,0 мм. Таким образом, с органолептической точки зрения предпочтительным является размер частиц 2,0 мм.

Физико-химические показатели полученных экстрактов представлены в таблице 3.4. Измельчение сырья интенсифицирует массообменные процессы. С уменьшением размера частиц возрастает поверхность контакта фаз, что приводит к увеличению массовой концентрации полифенольных соединений и массовой доли сахаров. Полученные данные подтверждают, что увеличение степени измельчения с 3,5 до 1,0 мм повышает массовую концентрацию полифенольных соединений на 22–26 % и массовую долю сахаров на 9–24 %, но одновременно снижает массовую концентрацию аскорбиновой кислоты на 33–60 % и ухудшает органолептические показатели из-за избыточной терпкости и мутности. Оптимальным компромиссом является фракция 2,0 мм, обеспечивающая высокое извлечение целевых компонентов при приемлемых органолептических свойствах. Полученные величины могут непосредственно использоваться для технологических расчетов при производстве функциональных экстрактов из выжимок после длительного хранения.

Таблица 3.4 – Влияние степени измельчения на физико-химические характеристики экстрактов

Образец / размер частиц, мм	Массовая концентрация титруемых кислот, г/дм ³	Массовая доля растворимых сухих веществ, %	Массовая концентрация полифенольных соединений, мг/дм ³	Массовая концентрация аскорбиновой кислоты, мг/дм ³	Массовая доля общих сахаров, %	Массовая доля редуцирующих сахаров, %
Саперави (высушенные, сброженные)						
Контроль/>3,5	5,0 ± 0,1	2,1 ± 0,5	623 ± 25	0,9 ± 0,1	0,66 ± 0,03	0,43 ± 0,04
Фракция 1/ 1,0	5,6 ± 0,1	2,3 ± 0,2	758 ± 30	0,6 ± 0,1	0,72 ± 0,04	0,50 ± 0,04
Фракция 2/ 2,0	5,3 ± 0,1	2,3 ± 0,2	691 ± 27	0,8 ± 0,1	0,69 ± 0,04	0,47 ± 0,04
Фракция 3/ 3,5	5,1 ± 0,1	2,2 ± 0,2	652 ± 25	0,9 ± 0,1	0,57 ± 0,04	0,44 ± 0,04
Цитронный Магараха (высушенные, сладкие)						
Контроль/>3,5	3,4 ± 0,1	9,3 ± 0,5	414 ± 17	1,0 ± 0,1	8,1 ± 0,5	7,2 ± 0,5
Фракция 1/ 1,0	4,2 ± 0,1	11,6 ± 1,4	523 ± 20	0,4 ± 0,2	10,1 ± 0,5	8,5 ± 0,5
Фракция 2/ 2,0	3,9 ± 0,1	10,8 ± 1,4	462 ± 18	0,7 ± 0,2	9,4 ± 0,5	7,8 ± 0,5
Фракция 3/ 3,5	3,7 ± 0,1	10,3 ± 1,4	425 ± 16	0,9 ± 0,2	9,1 ± 0,5	7,5 ± 0,5

Для того чтобы оценить влияние температуры экстрагирования, проводили экстракцию при фиксированном размере частиц 2,0 мм, варьируя температуру в интервале 30–85 °С. Результаты приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Влияние температуры экстрагирования на физико-химические показатели экстрактов

Температура, °С	Массовая концентрация титруемых кислот, г/дм ³	Массовая доля растворимых сухих веществ, %	Массовая концентрация полифенольных соединений, мг/дм ³	Массовая концентрация аскорбиновой кислоты, мг/дм ³	Массовая доля общих сахаров, %	Массовая доля редуцирующих сахаров, %
Саперави (высушенные, сброженные)						
30	4,2 ± 0,1	1,6 ± 0,2	550 ± 22	0,8 ± 0,1	0,49 ± 0,03	0,38 ± 0,03
45	4,6 ± 0,1	1,8 ± 0,2	609 ± 24	1,0 ± 0,1	0,56 ± 0,03	0,44 ± 0,03
60	5,3 ± 0,1	2,3 ± 0,2	691 ± 27	0,9 ± 0,1	0,69 ± 0,04	0,47 ± 0,04
85	5,6 ± 0,1	1,9 ± 0,2	687 ± 27	0,4 ± 0,2	0,71 ± 0,03	0,48 ± 0,03
Цитронный Магараха (высушенные, сладкие)						
30	2,9 ± 0,1	8,4 ± 0,5	331 ± 15	0,9 ± 0,1	7,9 ± 0,5	6,4 ± 0,5
45	3,3 ± 0,1	9,2 ± 0,5	364 ± 16	1,1 ± 0,1	8,3 ± 0,5	6,9 ± 0,5
60	3,9 ± 0,1	10,8 ± 1,4	462 ± 18	0,9 ± 0,2	9,4 ± 0,5	7,8 ± 0,5
85	4,0 ± 0,1	11,5 ± 0,5	434 ± 20	0,5 ± 0,1	9,6 ± 0,5	8,1 ± 0,5

Представленная таблица демонстрирует влияние температуры водной экстракции на выход основных биологически активных веществ из высушенных виноградных выжимок после 6 месяцев хранения. Для сброженного сырья (Саперави) и сладкого сырья (Цитронный Магараха) прослеживается общая закономерность – с ростом температуры от 30 до 85 °С увеличивается извлечение по-

лифенольных соединений, титруемых кислот, общих и редуцирующих сахаров, а также растворимых сухих веществ. Однако массовая концентрация аскорбиновой кислоты достигает максимума в диапазоне 45–60 °С и резко снижается при дальнейшем нагреве (до 0,4–0,5 мг/дм³ при 85 °С), что указывает на термодegradацию витамина. Дополнительным лимитирующим фактором служит ухудшение органолептических свойств экстрактов при температурах выше 60 °С, появляются уваренные тона, усиливается терпкость и мутность.

Таким образом, установлено, что повышение температуры свыше 65–70 °С не приводит к пропорциональному увеличению выхода ценных компонентов, а вызывает деградацию антоцианов и снижение антиоксидантной активности. Исходя из баланса между максимальной массовой концентрацией полифенольных соединений и массовой долей сахаров, приемлемой сохранностью аскорбиновой кислоты и высокими органолептическими показателями, оптимальной температурой экстрагирования для обоих типов выжимок является интервал 60–65 °С.

Для выбора компромиссной комбинации факторов необходим многофакторный эксперимент, учитывающий возможное взаимодействие факторов.

Установлено, что, несмотря на количественные различия, характер влияния степени измельчения и температуры на массовую концентрацию полифенольных соединений и массовую долю сахаров для обоих сортов идентичен. Это позволяет в дальнейшем, при проведении трудоемкого многофакторного эксперимента, ограничиться одним репрезентативным сортом (Саперави) и распространить полученные закономерности на сырье сходного типа.

В качестве факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на процесс экстракции, выбраны:

- X_1 – размер частиц выжимок, мм;
- X_2 – температура экстрагирования, °С.

Область определения факторов установлена на основе результатов однофакторных опытов с учетом сохранения высоких органолептических свойств: размер частиц – от 1,0 до 3,5 мм; температура – от 45 до 75 °С.

Для получения математического описания процесса в виде полинома второй степени реализован центральный композиционный ротатабельный план типа 2^2 со «звездными» точками. Условия планирования в кодированных и натуральных значениях представлены в таблице 3.6. Кодирование факторов выполнено по формулам:

$$x_1 = X_1 - X_{1,0}/\Delta X_1, \quad (3.1)$$

$$x_2 = X_2 - X_{2,0}/\Delta X_2, \quad (3.2)$$

где $X_{1,0}=2,25$ мм – основной уровень (центр плана), $\Delta X_1=1,25$ мм – интервал варьирования; $X_{2,0}=60$ °С, $\Delta X_2=15$ °С.

Таблица 3.6 – Уровни факторов и интервалы варьирования

Уровень	Размер частиц X_1 , мм	Температура X_2 , °С
Нижний $(-1-1)$	1,0	45
Верхний $(+1+1)$	3,5	75
Основной (00)	2,25	60
Интервал варьирования	1,25	15
Звездное плечо $(\alpha=1\alpha=1)$	–	–

Матрица планирования включала 13 опытов: 4 точки полного факторного эксперимента 2^2 (опыты 1–4), 4 звездные точки ($\alpha=\pm 1$ по одному фактору при нулевом уровне другого) – опыты 5–8, и 5 повторений в центре плана (опыты 9–13) для оценки дисперсии воспроизводимости. Последовательность опытов рандомизирована.

В качестве откликов (критериев оптимизации) выбраны:

- Y_1 – массовая концентрация полифенольных соединений, мг/дм³;
- Y_2 – массовая доля редуцирующих сахаров, %.

Эксперименты выполнены при гидромодуле 1:6 и продолжительности экстракции 6 ч. Результаты измерений (средние из трех параллельных определений) приведены в таблице 3.7.

Для каждого отклика рассчитаны коэффициенты регрессионного уравнения второго порядка:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2.$$

Таблица 3.7 – Матрица планирования и результаты эксперимента

№ опыта	x_1	x_2	X_1 , мм	X_2 , °C	Y_1 , мг/дм ³	Y_2 , %
1	-1	-1	1,0	45	668	0,47
2	+1	-1	3,5	45	580	0,42
3	-1	+1	1,0	75	756	0,51
4	+1	+1	3,5	75	645	0,46
5	-1	0	1,0	75	758	0,50
6	+1	0	3,5	75	652	0,44
7	0	-1	2,25	45	609	0,44
8	0	+1	2,25	75	689	0,475
9	0	0	2,25	60	691	0,47
10	0	0	2,25	60	691	0,47
11	0	0	2,25	60	691	0,47
12	0	0	2,25	60	691	0,47
13	0	0	2,25	60	691	0,47

В результате получены следующие адекватные модели (в кодированных переменных):

- для массовой концентрации полифенольных соединений:

$$\hat{Y}_1 = -41,266 - 64,136x_1 + 25,651x_2 - 0,273x_1x_2 + 9,164x_1^2 - 0,186x_2^2;$$

$$R^2 = 0,987; F_{\text{расч}} > F_{\text{табл}};$$

- для массовой доли редуцирующих сахаров:

$$\hat{Y}_2 = 0,254 - 0,027x_1 + 0,008x_2 - 0,00007x_1x_2 + 0,002x_1^2 - 0,00006x_2^2;$$

$$R^2 = 0,976; F_{\text{расч}} > F_{\text{табл}}.$$

Положительные знаки коэффициентов b_2 подтверждают стимулирующее влияние температуры на оба отклика. Отрицательный знак b_1 указывает на то, что увеличение размера частиц (грубое измельчение) снижает выход компонентов. Коэффициент взаимодействия b_{12} мал и статистически незначим, что свидетельствует о независимом действии факторов в исследованной области.

На основе полученных уравнений построены поверхности отклика (рисунок 3.2) и линии равного уровня (рисунок 3.3), позволяющие визуализировать зависимость Y_1 и Y_2 от факторов.

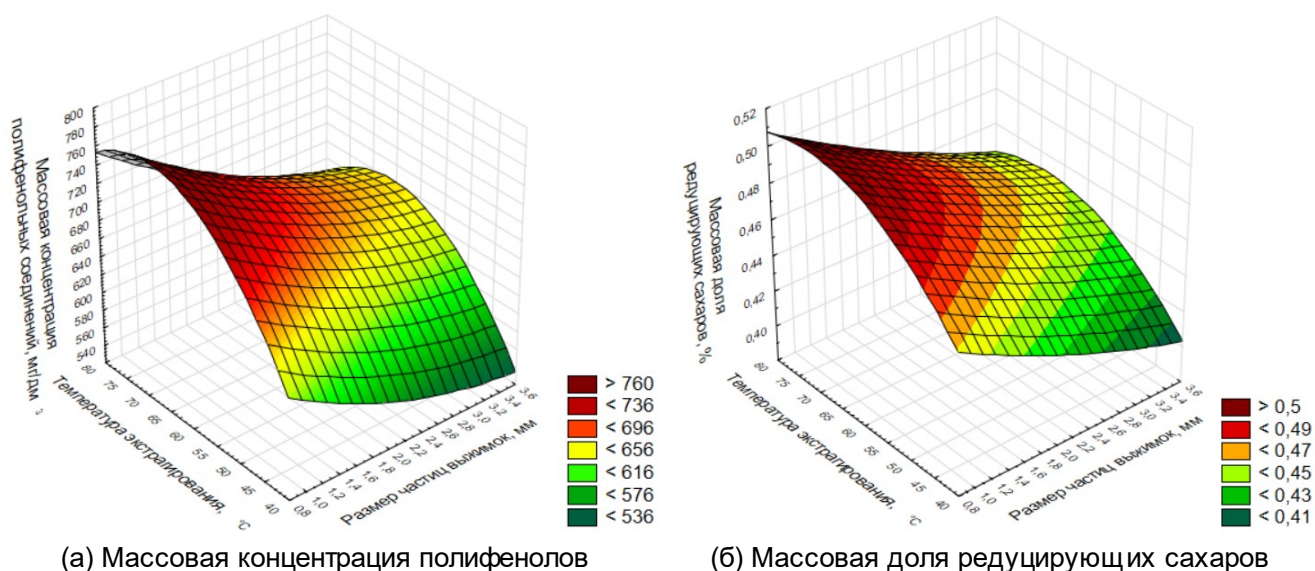


Рисунок 3.2 – Поверхности отклика для массовой концентрации полифенольных соединений (а) и массовой доли редуцирующих сахаров (б)

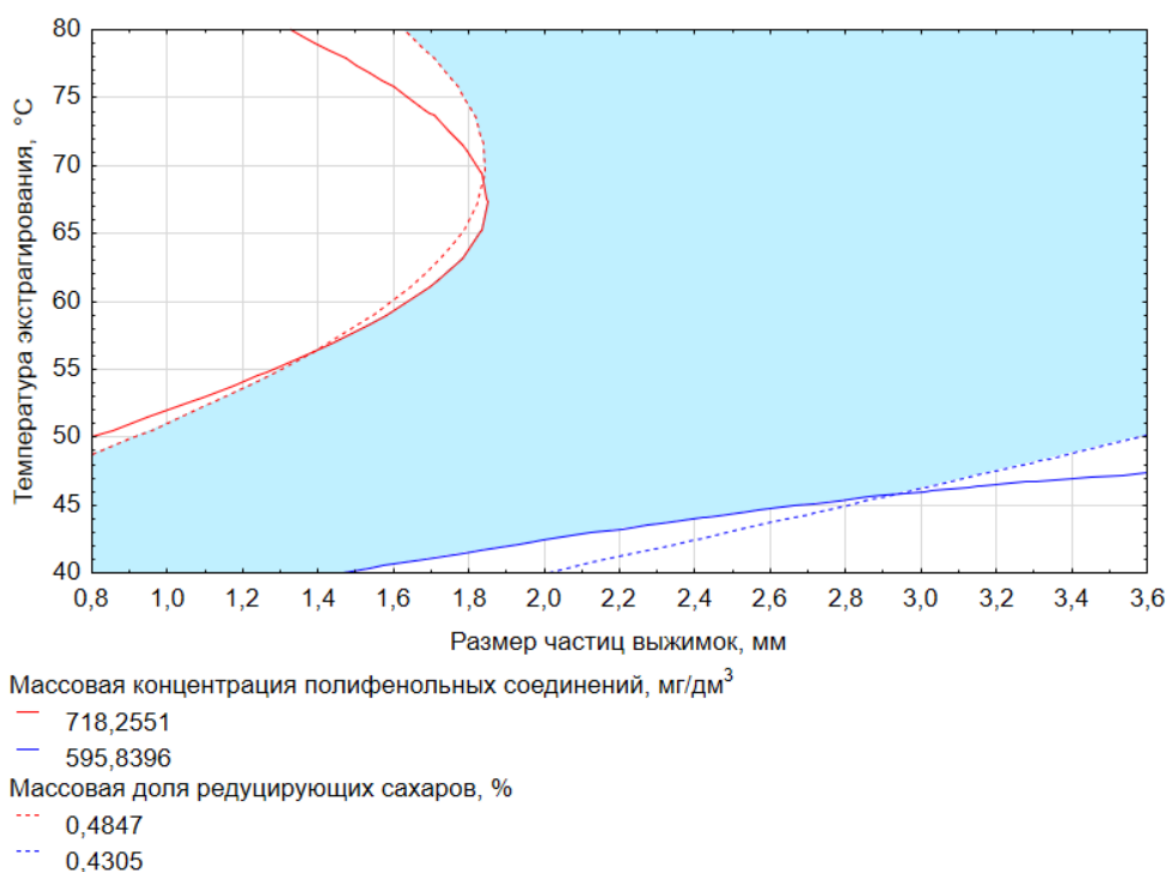


Рисунок 3.3 – Наложение контуров равных значений для двух откликов

Анализ показал, что максимум для значения массовой концентрации полифенольных соединений достигается при минимальном размере частиц ($x_1 = -1$,

$X_1=1,0$ мм), а также средней и максимальной температурах ($x_2=0...+1$, $X_2\approx 60-75$ °С). При этих же условиях близка к максимуму и массовая доля редуцирующих сахаров. При этом в центральной области плана ($X_1=2,25$ мм, $X_2=60$ °С) оба показателя имеют умеренные значения, соответствующие данным, полученным в однофакторных опытах.

Для одновременной оптимизации двух критериев использован метод построения компромиссной области. Заданы целевые уровни: $Y_1 \geq 720$ мг/дм³, $Y_2 \geq 0,48$ %. Область факторного пространства, удовлетворяющая этим условиям, в натуральных переменных будет соответствовать следующим значениям:

- размер частиц: $1,0 \leq X_1 \leq 1,5$ мм;
- температура: $60 \leq X_2 \leq 75$ °С.

Таким образом, с учетом того, что органолептическая оценка экстракта обратно пропорциональна степени измельчения выжимок, в качестве рабочей точки, обеспечивающей хорошую воспроизводимость и запас по технологическим допускам, выбраны:

$$X_{1,\text{опт}}=1,5 \text{ мм}, X_{2,\text{опт}}=65 \text{ °С}.$$

При данных условиях прогнозируемые значения откликов составляют:

$$\hat{Y}_1 = 724 \text{ мг/дм}^3, \hat{Y}_2 = 0,49 \text{ \%}.$$

Органолептическая оценка экстракта, полученного при оптимальных параметрах (размер частиц 1,5 мм, температура 65 °С), составила 5,0 баллов (таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Органолептическая оценка экстракта, полученного при оптимальных условиях

Показатель	Характеристика	Оценка, балл
Внешний вид	Прозрачная жидкость, без осадка и помутнения	5,0
Цвет	Рубиновый, насыщенный, характерный для сорта	5,0
Аромат	Чистый, сортовой, с тонами вишни и пряностей	5,0
Вкус	Умеренно терпкий, с приятной кислинкой	5,0
Интегральный балл		5,0

Экстракт характеризовался прозрачным рубиновым цветом, чистым сортовым ароматом с тонами вишни и пряностей, гармоничным вкусом с умеренной терпкостью и приятной кислинкой.

3.2.2 Исследование влияния времени экстрагирования и интенсивности перемешивания на органолептические показатели и биохимический состав экстрактов

Поскольку найденные оптимальные параметры (1,5 мм, 65 °С) обеспечивают высокую эффективность процесса, дальнейшее увеличение выхода целевых компонентов может быть достигнуто за счет интенсификации массообмена. Ключевыми факторами, определяющими кинетику массопередачи, являются продолжительность процесса и гидродинамические факторы (интенсивность перемешивания). В этой связи следующая серия экспериментов была посвящена их исследованию.

Данные параметры определяют кинетику массопередачи и могут существенно влиять как на полноту извлечения целевых компонентов, так и на сохранность термолабильных соединений. Для получения количественных зависимостей и определения оптимальных режимов реализован многофакторный эксперимент.

В качестве независимых переменных приняты:

- X_3 – продолжительность экстракции, ч;
- X_4 – скорость перемешивания, с^{-1} .

Диапазоны варьирования установлены на основе предварительных однофакторных опытов и анализа литературных данных:

- продолжительность: от 2 до 12 ч (нижний уровень – недостаточное извлечение, верхний – риск деструкции и ухудшения органолептических показателей);
- скорость перемешивания: от 100 до 300 с^{-1} (нижний уровень – ламинарный режим, верхний – интенсивное турбулентное перемешивание).

Для получения математического описания процесса использован центральный композиционный рентабельный план типа 2^2 со звездными точками. Кодирование факторов выполнено по формулам:

$$x_3 = X_3 - X_{3,0} / \Delta X_3, \quad (3.3)$$

$$x_4 = X_4 - X_{4,0} / \Delta X_4, \quad (3.4)$$

где $X_{3,0}=7$ ч – основной уровень (центр плана);

$\Delta X_3=5$ ч – интервал варьирования;

$X_{4,0} = 200$ с⁻¹;

$\Delta X_4=100$ с⁻¹.

Уровни факторов и интервалы варьирования представлены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Уровни факторов и интервалы варьирования

Уровень	Продолжительность X_3 , ч	Скорость перемешивания X_4 , с ⁻¹
Нижний (-1)	2	100
Верхний (+1)	12	300
Основной (0)	7	200
Интервал варьирования	5	100
Звездное плечо ($\alpha=1$)	–	–

Матрица планирования включала 13 опытов: 4 точки полного факторного эксперимента 22 (опыты 1–4), 4 звездные точки ($\alpha=\pm 1$ по одному фактору при нулевом уровне другого) – опыты 5–8, и 5 повторений в центре плана (опыты 9–13). Последовательность опытов рандомизирована.

В качестве откликов (критериев оптимизации) оставлены те же показатели:

- Y_1 – массовая концентрация полифенольных соединений, мг/дм³;
- Y_2 – массовая доля редуцирующих сахаров, %.

Эксперименты выполнены на выжимках винограда сорта Саперави при ранее установленных оптимальных условиях: размер частиц 1,5 мм, температура 65 °С, гидромодуль 1:6. В каждом опыте варьировали продолжительность и скорость перемешивания согласно матрице планирования. Результаты измерений (средние из трех параллельных определений) приведены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Матрица планирования и результаты эксперимента

№ опыта	x_3	x_4	X_3 , ч	X_4 , с ⁻¹	Y_1 , мг/дм ³	Y_2 , %
1	-1	-1	2	100	548 ± 22	0,32 ± 0,02
2	+1	-1	12	100	732 ± 29	0,48 ± 0,03
3	-1	+1	2	300	602 ± 24	0,38 ± 0,02
4	+1	+1	12	300	815 ± 33	0,52 ± 0,03
5	-1	0	2	200	585 ± 23	0,35 ± 0,02
6	+1	0	12	200	782 ± 31	0,50 ± 0,03
7	0	-1	7	100	670 ± 27	0,42 ± 0,02
8	0	+1	7	300	725 ± 29	0,46 ± 0,03
9	0	0	7	200	708 ± 28	0,44 ± 0,02
10	0	0	7	200	712 ± 28	0,45 ± 0,02
11	0	0	7	200	705 ± 28	0,44 ± 0,02
12	0	0	7	200	710 ± 28	0,44 ± 0,02
13	0	0	7	200	706 ± 28	0,45 ± 0,02

Анализ полученных данных показывает, что увеличение как продолжительности, так и интенсивности перемешивания способствует росту содержания целевых компонентов. Наибольшие значения массовой концентрации полифенольных соединений (815 мг/дм³) и массовой доли редуцирующих сахаров (0,52 %) достигнуты в опыте 4 при максимальных уровнях обоих факторов (12 ч, 300 с⁻¹). Наименьшие показатели зафиксированы в опыте 1 (2 ч, 100 с⁻¹): массовая концентрация полифенольных соединений 548 мг/дм³, массовая доля редуцирующих сахаров 0,32 %.

Для каждого отклика рассчитаны коэффициенты регрессионного уравнения второго порядка:

$$\hat{Y} = b_0 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{33}x_3^2 + b_{44}x_4^2.$$

В результате получены следующие адекватные модели (в кодированных переменных):

- для массовой концентрации полифенольных соединений:

$$\hat{Y}_1 = 438,66 + 30,34x_3 + 0,612x_4 + 0,015x_3x_4 - 0,96x_3^2 - 0,001x_4^2; R^2 = 0,992; F_{\text{расч}} > F_{\text{табл.}}$$

- для массовой доли редуцирующих сахаров:

$$\hat{Y}_2 = 0,236 + 0,027x_3 + 0,0004x_4 - 0,00001x_3x_4 - 0,0007x_3^2 - 2 \cdot 10^{-7}x_4^2;$$

$$R^2 = 0,985; F_{\text{расч}} > F_{\text{табл.}}$$

Положительные знаки линейных коэффициентов b_3 и b_4 подтверждают стимулирующее влияние продолжительности и перемешивания на оба отклика. Коэффициент взаимодействия b_{34} мал и статистически незначим для обоих уравнений, что свидетельствует о независимом действии факторов в исследованной области. Квадратичные члены отрицательны, но их величины невелики, что указывает на близость зависимости к линейной в изученном диапазоне.

На основе полученных уравнений построены поверхности отклика (рисунок 3.4) и линии равного уровня (рисунок 3.5).

Анализ поверхностей показывает, что максимум содержания полифенольных соединений и редуцирующих сахаров достигается в области максимальных значений обоих факторов: $x_3=+1$ (12ч) и $x_4=+1$ (300с^{-1}). При этом прогнозируемые значения составляют $\hat{Y}_1=815\text{мг/дм}^3$, $\hat{Y}_2=0,52\%$, что совпадает с экспериментальными данными опыта 4.

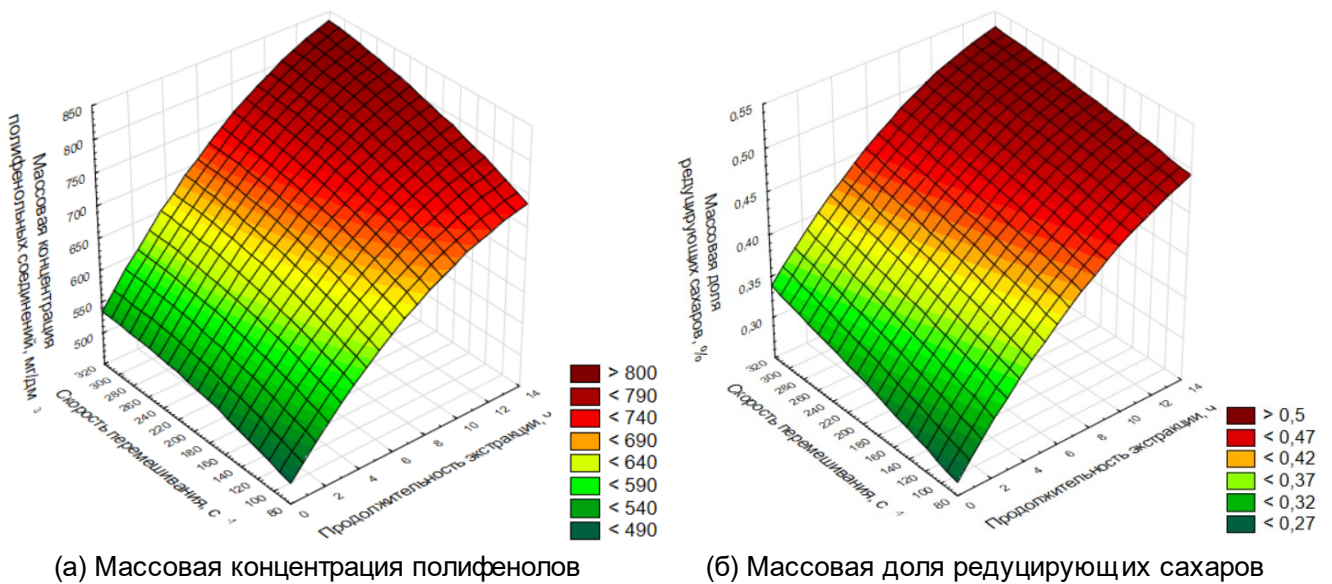


Рисунок 3.4 – Поверхности отклика

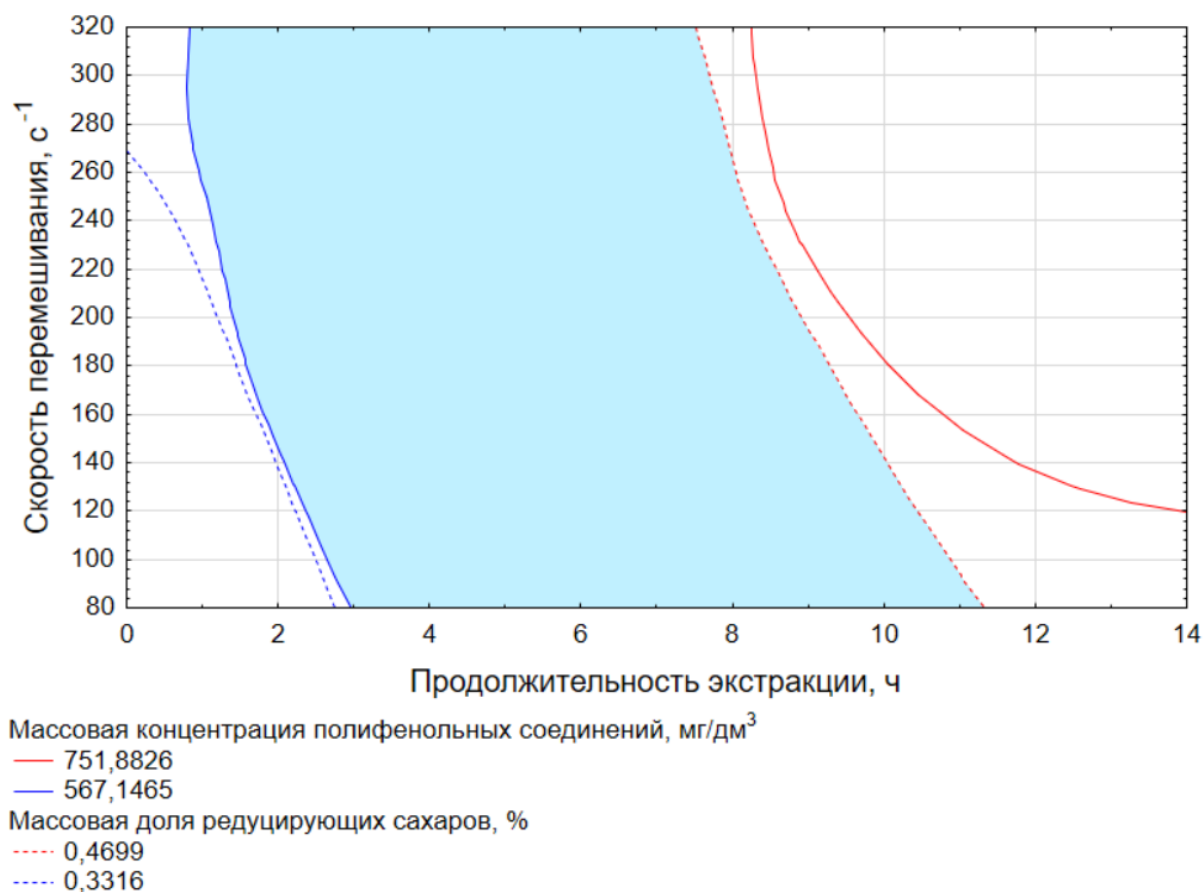


Рисунок 3.5 – Наложение контуров равных значений для двух откликов

Однако, согласно данным о кинетике массопереноса при водной экстракции растительного сырья, увеличение продолжительности экстракции свыше 6-8 ч не приводит к существенному росту массовой концентрации полифенольных соединений. Также при таких жестких режимах возможны рост затрат на энергию и ухудшение органолептических свойств продукта. Согласно предварительным наблюдениям, увеличение продолжительности экстракции свыше 7 ч и интенсивности перемешивания выше 250 с^{-1} приводит к появлению излишней терпкости и помутнению. Поэтому для определения технологически приемлемого оптимума проведена органолептическая оценка образцов, полученных в различных точках плана (таблица 3.11).

Таблица 3.11 – Органолептическая оценка экстрактов в зависимости от режимов экстракции

№ опыта	X_3 , ч	X_4 , с ⁻¹	Внешний вид	Цвет	Аромат	Вкус	Интегральный балл
1	2	100	4,0	4,5	4,0	4,0	4,1
2	12	100	4,5	5,0	4,5	4,0	4,5
3	2	300	4,0	5,0	4,5	4,5	4,5
4	12	300	4,0	5,0	4,0	3,5	4,1
5	2	200	4,5	5,0	4,5	4,5	4,6
6	12	200	4,5	5,0	5,0	4,5	4,8
7	7	100	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
8	7	300	4,5	5,0	5,0	4,5	4,8
9–13	7	200	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0

Наивысшие органолептические оценки (5,0 баллов) получены для образцов с продолжительностью 7 ч и перемешиванием 200 с⁻¹ (центр плана), а также при 7 ч и 100 с⁻¹. Увеличение продолжительности до 12 ч при высоком перемешивании (опыт 4) снижает вкусовые качества до 3,5 баллов из-за излишней терпкости и горечи.

Для одновременной оптимизации по трем критериям – максимум массовой концентрации полифенольных соединений, максимум массовой доли редуцирующих сахаров и высокая органолептическая оценка (не ниже 4,8 балла) – использован метод построения компромиссной области. Заданы целевые уровни: $Y_1 \geq 670$ мг/дм³, $Y_2 \geq 0,40$ %, органолептический балл $\geq 4,8$. Этим условиям удовлетворяет следующая область:

- продолжительность: $4,5 \leq X_3 \leq 6,5$ ч;
- скорость перемешивания: $150 \leq X_4 \leq 250$ с⁻¹.

В качестве рабочей точки, обеспечивающей высокие показатели при хорошей воспроизводимости, выбраны:

$$X_{3,\text{опт}} = 5,5 \text{ ч}, X_{4,\text{опт}} = 200 \text{ с}^{-1}.$$

При данных условиях прогнозируемые значения откликов составляют:

$$\hat{Y}_1 = 675 \text{ мг/дм}^3, \hat{Y}_2 = 0,42 \%$$

Органолептическая оценка – 4,9 балла.

Таким образом, был реализован центральный композиционный план для двух факторов (продолжительность и интенсивность перемешивания), позволивший получить адекватные математические модели зависимости массовой концентрации полифенольных соединений и массовой доли редуцирующих сахаров от исследуемых параметров.

Установлено, что увеличение времени экстракции и скорости перемешивания способствует росту выхода целевых компонентов; максимальные значения (массовая концентрация полифенольных соединений 815 мг/дм³, массовая доля редуцирующих сахаров 0,52 %) достигаются при 12 ч и 300 с⁻¹. Однако при экстремальных режимах наблюдается ухудшение органолептических свойств (снижение вкусовой оценки до 3,5 баллов). Оптимальной с точки зрения баланса между биохимической полнотой и сенсорными характеристиками является область: продолжительность 4,5–6,5 ч, скорость перемешивания 150–250 с⁻¹.

В качестве технологически приемлемого оптимума рекомендованы параметры: продолжительность 5,5 ч, скорость перемешивания 200 с⁻¹. При данных условиях массовая концентрация полифенольных соединений составляет не менее 675 мг/дм³, массовая доля редуцирующих сахаров – не менее 0,42 %, органолептическая оценка – 4,9 балла. Полученные модели могут быть использованы для прогнозирования состава экстрактов и управления процессом экстракции при производстве функциональных напитков из выжимок винограда.

Комплексное исследование процесса экстракции биологически активных веществ из выжимок винограда, включающее оценку влияния четырех технологических факторов (степени измельчения, температуры, продолжительности и интенсивности перемешивания) и их последующую многопараметрическую оптимизацию, позволяет сделать следующие заключения:

1. Установлено, что интенсификация режимов экстракции (уменьшение размера частиц, повышение температуры, увеличение продолжительности и скорости перемешивания) закономерно приводит к росту массопередачи и, как следствие, к увеличению массовой концентрации полифенольных соединений и массовой доли редуцирующих сахаров. Максимальные экспериментальные зна-

чения (815 мг/дм³ и 0,52 % соответственно) достигнуты при наиболее жестких режимах (12 ч, 300 с⁻¹).

2. Установлено, что стремление к абсолютному максимуму по целевым компонентам вступает в противоречие с потребительскими свойствами продукта. Жесткие режимы (размер частиц <1,0 мм, температура >70 °С, продолжительность >7 ч) приводят к ухудшению органолептических показателей (появление терпкости, помутнения, «вареного» привкуса), что делает их технологически неприемлемыми. Таким образом, критерий качества продукта выступает естественным ограничителем при оптимизации.

3. Получены адекватные регрессионные модели второго порядка, с высокой точностью ($R^2 > 0,97$) описывающие зависимость массовой концентрации полифенольных соединений и массовой доли редуцирующих сахаров от исследуемых факторов. Установлен независимый характер влияния факторов, что подтверждается статистической незначимостью коэффициентов взаимодействия.

4. Методом наложения контуров равных значений определены компромиссные области, обеспечивающие максимально возможное извлечение целевых компонентов в рамках заданных органолептических ограничений. В результате двухэтапной оптимизации рекомендованы следующие технологические режимы процесса экстракции:

- размер частиц выжимок 1,5 мм;
- температура экстрагирования 65 °С;
- продолжительность экстракции 5,5 ч;
- скорость перемешивания 200 с⁻¹.

5. Верификация разработанных режимов подтвердила их эффективность. При рекомендуемых параметрах обеспечиваются высокие значения массовой концентрации полифенольных соединений (не менее 675 мг/дм³) и массовой доли редуцирующих сахаров (не менее 0,42 %) в сочетании с отличными органолептическими характеристиками (дегустационная оценка не ниже 4,9 балла). Полученные математические модели и оптимальные параметры могут служить

основой для разработки технологического регламента производства экстрактов и управления процессом экстракции.

3.2.3 Сравнительная оценка эффективности предварительной обработки выжимок винограда электромагнитным полем крайне низкой частоты и ультразвуком на органолептические показатели и биохимический состав экстрактов

После определения рациональных параметров экстракции (степень измельчения, температура, продолжительность, интенсивность перемешивания) актуальной задачей является поиск дополнительных способов интенсификации процесса, позволяющих либо повысить выход целевых компонентов, либо снизить энергозатраты при сохранении качества продукта. К числу перспективных физических методов воздействия на растительное сырье относятся обработка ультразвуком (УЗ) и электромагнитным полем крайне низкой частоты (ЭМП КНЧ).

Ультразвуковая обработка инициирует кавитационные явления в жидкой среде, вызывающие локальные гидравлические удары и микропотоки, что приводит к механической деструкции клеточных стенок и интенсификации массопереноса [118]. Воздействие ЭМП КНЧ, напротив, не вызывает нагрева и механических разрушений, но способно изменять проницаемость клеточных мембран за счет поляризационных эффектов и модуляции ионных потоков [119]. В связи с этим представляло интерес сравнительное изучение влияния данных методов на эффективность экстракции из выжимок винограда, различающихся по сортовым особенностям и биохимическому составу.

Исследования проводили на высушенных сброженных выжимках винограда красного сорта Саперави. Базовые условия экстракции соответствовали ранее найденным рациональным параметрам: гидромодуль 1:6, продолжительность 5,5 ч, температура 65 °С для контроля. В экспериментальных образцах перед экс-

тракцией осуществляли предварительную обработку выжимок в процессе экстракции:

- ультразвуком с частотой 22 кГц, интенсивностью 100 Вт/л, продолжительностью 15 мин;
- электромагнитным полем крайне низкой частоты (30 Гц) при напряженности 100 А/м в течение 30 мин.

Выбор частотных и временных параметров обработки электромагнитным полем основывался на анализе литературных данных о влиянии ЭМП крайне низких частот на растительное сырье и процессы экстракции.

Частота 30 Гц выбрана как относящаяся к диапазону крайне низких частот (3–30 Гц), который, согласно исследованиям, обладает наибольшей биологической активностью в отношении растительных тканей. В работе Медведева и Сакибаева показано, что предварительная обработка семян винограда электромагнитным полем низкой частоты 28,36 Гц позволяет увеличить выход фенольных веществ на 15% и сократить продолжительность экстракции в 1,2 раза [120]. Близость выбранной частоты (30 Гц) к экспериментально подтвержденному эффективному значению (28,36 Гц) позволяет ожидать сходного положительного эффекта для выжимок винограда.

Напряженность поля 100 А/м выбрана на основании работ Христюка В.Т., в которых научно обоснованы параметры воздействия ЭМП КНЧ на продукты переработки винограда и показано, что напряженность в диапазоне 80–120 А/м является оптимальной для интенсификации массообменных процессов без деструкции термолабильных соединений [121, 122].

Продолжительность обработки 30 мин определена с учетом двух факторов:

- исследования Mshenskaya и соавторов показали, что кратковременное (30 мин) воздействие ЭМП КНЧ вызывает более выраженные биохимические изменения в растительных тканях, чем длительная обработка [123];
- в работе Медведева и Сакибаева применялась циклическая обработка (3 раза по 20 мин) [120], однако для сохранения технологической эффективности и

минимизации энергозатрат в настоящем исследовании выбран однократный режим продолжительностью 30 мин как обеспечивающий достаточный эффект применительно к выжимкам винограда.

Таким образом, выбранные параметры (частота 30 Гц, напряженность 100 А/м, продолжительность 30 мин) представляют собой научно обоснованный компромисс, обеспечивающий, с одной стороны, достаточную интенсивность воздействия для модификации проницаемости клеточных структур, а с другой – сохранность термолабильных биологически активных соединений.

Визуальные характеристики полученных экстрактов выжимок винограда сорта Саперави представлены на рисунке 3.6.



Рисунок 3.6 – Экстракты из выжимок винограда сорта Саперави, полученные при различных способах предварительной обработки: 1 – контроль (без обработки); 2 – после обработки ЭМП КНЧ, 3 – после УЗ-обработки

Результаты органолептической оценки, проведенной по 5-балльной шкале (согласно методике, описанной в разделе 2), представлены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Органолептические показатели экстрактов из выжимок винограда сорта Саперави в зависимости от способа предварительной обработки

Сорт, способ обработки	Внешний вид	Цвет	Аромат	Вкус	Интегральный балл
Ультразвук	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
ЭМП КНЧ	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5

Установлено, что ультразвуковая обработка позволила достичь максимальных оценок по всем органолептическим показателям. Обработка ЭМП КНЧ также привела к положительному результату, но в меньшей степени – внешний вид, цвет, вкус и аромат оценивались в 4,5 балла.

Физико-химические характеристики полученных экстрактов приведены в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Физико-химические показатели экстрактов из выжимок винограда сорта Саперави при различных способах предварительной обработки

Образец, способ обработки	Массовая концентрация титруемых кислот, г/дм ³	Массовая доля растворимых сухих веществ, %	Массовая концентрация полифенольных соединений, мг/дм ³	Массовая концентрация аскорбиновой кислоты, мг/дм ³	Массовая доля общих сахаров, %	Массовая доля редуцирующих сахаров, %
Контроль (без обработки)	5,4 ± 0,1	1,9 ± 0,2	675 ± 27	0,9 ± 0,1	0,60 ± 0,03	0,42 ± 0,03
Ультразвук	6,1 ± 0,1	2,3 ± 0,2	805 ± 32	0,7 ± 0,1	0,71 ± 0,03	0,58 ± 0,03
ЭМП КНЧ	5,7 ± 0,1	2,1 ± 0,2	740 ± 30	0,9 ± 0,1	0,64 ± 0,03	0,51 ± 0,03

Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы.

Ультразвуковая обработка обеспечивает максимум массовой концентрации полифенольных соединений (прирост 19%) и массовой доли сахаров (18 %) за счет кавитационной деструкции клеточных стенок, однако приводит к заметным потерям аскорбиновой кислоты (на 22 %). Электромагнитное поле крайне низкой частоты (ЭМП КНЧ) действует мягче, увеличивает массовую концентрацию полифенольных соединений и массовую долю сахаров на 7–10 %, практически не снижая массовую концентрацию витамина С. С учетом ранее установленной оптимальной температуры 65 °С, применение физических методов интенсификации позволяет сократить продолжительность экстракции при сохранении высокого качества продукта. Скорректированные данные подтверждают перспективность комбинации щадящей температуры и физических воздействий для получения функциональных экстрактов из длительно хранившихся выжимок.

Сопоставление с ранее полученными оптимальными параметрами экстракции (разделы 3.2.1, 3.2.2) показывает, что предварительная физическая обработка позволяет либо повысить выход целевых компонентов при сохранении базовых режимов, либо создает предпосылки для их смягчения, например, для уменьшения температуры либо времени экстрагирования.

Выбор метода предварительной обработки должен определяться типом сырья и целевыми приоритетами. Так, для выжимок винограда сорта Саперави, требующего более интенсивного воздействия для извлечения прочно связанных полифенолов, ультразвук является предпочтительным методом. Он может быть интегрирован в технологическую схему производства экстрактов как дополнительная операция, позволяющая повысить эффективность процесса без увеличения температуры или продолжительности экстракции.

3.3 Разработка моделей и цифровых инструментов оптимизации процесса экстрагирования

3.3.1 Функциональное моделирование процесса получения экстракта выжимок винограда для функционального напитка

С целью формализации и структурированного описания процесса получения экстрактов выжимок винограда были разработаны и описаны функциональные модели процесса в нотации IDEF0. Контекстная диаграмма приведена на рисунке 3.7.



Рисунок 3.7 – Контекстная диаграмма процесса получения экстракта из выжимок винограда

Как видно, в качестве входов процесса выступают непосредственно выжимки винограда (мезга), а также вода/растворитель и вспомогательные материалы (фильтры, сорбенты и прочее). Выходами процесса являются: готовый экстракт выжимок винограда, отходы переработки (жом), а также протоколы контроля качества. В качестве управляющих воздействий модели служат различные технические регламенты, внутренние технологические инструкции и стандарты качества. Механизмами модели, непосредственно реализующими процесс, выступают: технологическое оборудование, лаборатория контроля качества, специально обученный персонал и производственные помещения.

На первом уровне декомпозиции были получены четыре ключевых блока процесса: подготовка сырья, экстракция биоактивных соединений, очистка и концентрирование, стандартизация и контроль качества (рисунок 3.8).

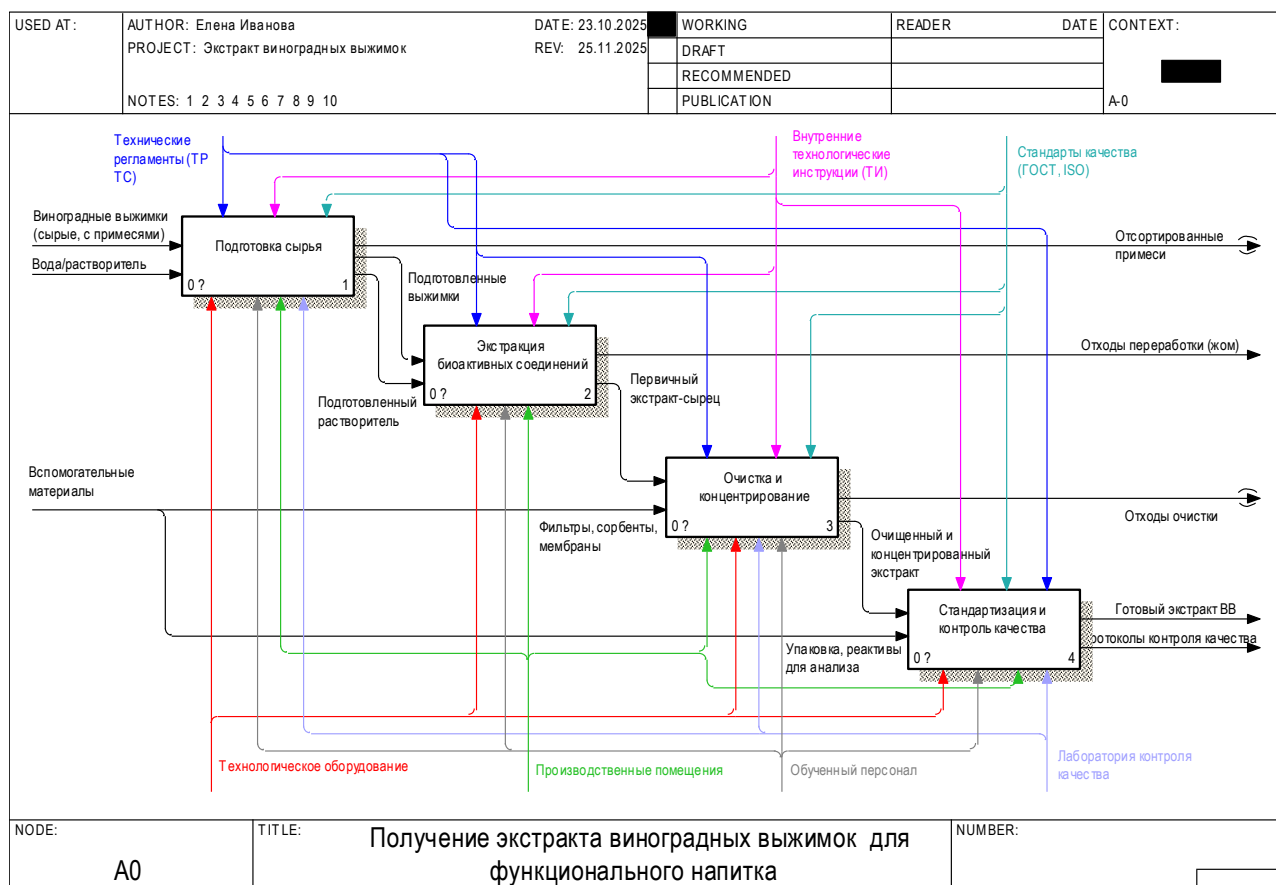


Рисунок 3.8 – Первый уровень декомпозиции

На первом этапе сырые необработанные выжимки винограда измельчаются и сортируются. Также специальным образом подготавливается растворитель. В качестве вспомогательных материалов выступают тара и паллеты. Подготовленные выжимки и растворитель подаются на вход второго блока – экстракция биологически активных соединений, в результате которого получается первичный экстракт-сырец (жидкий, неочищенный). Основным отходом этапа является жом (отжатые выжимки). Первичный экстракт-сырец, а также фильтры, сорбенты и мембраны поступают на вход процесса очистки и концентрирования, в результате которого формируется очищенный и концентрированный экстракт, без взвесей, с заданным процентом сухих веществ). Отходами здесь будут осадки и отработанные сорбенты. После прохождения заключительного этапа «Стандартизация и контроль качества» на выходе модели будет получен готовый экстракт (стандарти-

зованный, стабильный и упакованный), а также протоколы контроля качества (паспорт качества, результаты анализов).

Элементы управления действуют на все функции процесса, определяя параметры каждого этапа.

В качестве используемого оборудования следует выделить дробилки и сушилки для этапа 1, экстракторы и прессы для этапа 2, фильтры выпарные аппараты для этапа 3, аналитические приборы, фасовочные линии для этапа 4. Механизм «Лаборатория контроля качества» проводит входной контроль и выходной контроль, а также используется при очистке и стабилизации экстракта. Персонал в виде операторов, технологов, лаборантов задействован на всех этапах. Механизм «производственные помещения» – производственные цеха и складские зоны, – обеспечивают весь процесс.

Детальная декомпозиция функции «Подготовка сырья» показана на рисунке 3.9.

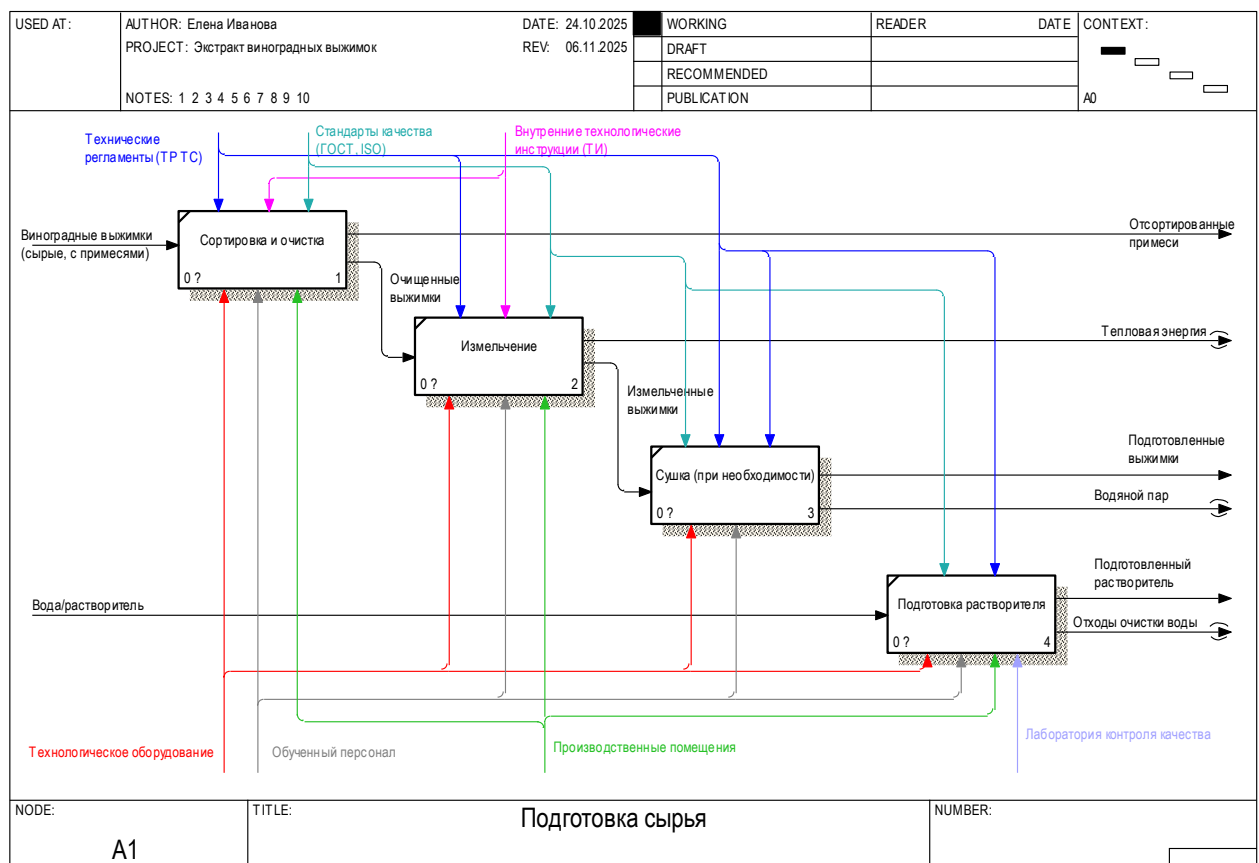


Рисунок 3.9 – Декомпозиция функции «Подготовка сырья»

Этап сортировки и очистки позволяет отделить выжимки от посторонних примесей. Далее очищенные выжимки поступают на вход функции измельчения, после чего наступает процесс сушки. Побочными выходами данных процессов является тепловая энергия в процессе измельчения и водяной пар в процессе сушки. Параллельно с обработкой выжимок реализуется функция подготовки растворителя.

Среди технических регламентов, на основании которых реализуется процесс, следует отметить:

- 021/2011 – регулирует требования к исходному сырью (безопасность, отсутствие токсичных примесей), критично для этапа сортировки и очистки;
- 010/2011 – регулирует безопасность эксплуатации производственного оборудования (сушки, измельчения), что касается этапов измельчения и сушки.

Технологические инструкции на проведение сортировки, на измельчение (требуемая фракция частиц), на сушку (температура, время) непосредственно управляют каждым подпроцессом, определяя конкретные операции, параметры и режимы. К используемым стандартам качества в данном случае относятся внутренний стандарт на допустимое содержание примесей, ГОСТ Р ИСО 22000-2019 (требования к процессам), внутренние нормы по микробиологии, а также Сан-ПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» – базовый стандарт для питьевой воды, задает стандарт качества для растворителя, используемого в экстракции. То есть стандарты качества устанавливают требования к системе менеджмента качества и конкретным показателям на всех этапах.

Среди особенностей задействованных механизмов можно отметить то, что лаборатория подключается именно на заключительном этапе для контроля качества подготовленного растворителя, так как его параметры напрямую влияют на эффективность последующей экстракции. Прочие механизмы задействованы на всех этапах, но конкретное оборудование и зоны ответственности персонала меняются в зависимости от подпроцесса.

Далее рассмотрим декомпозицию процесса экстракции биоактивных соединений (рисунок 3.10).

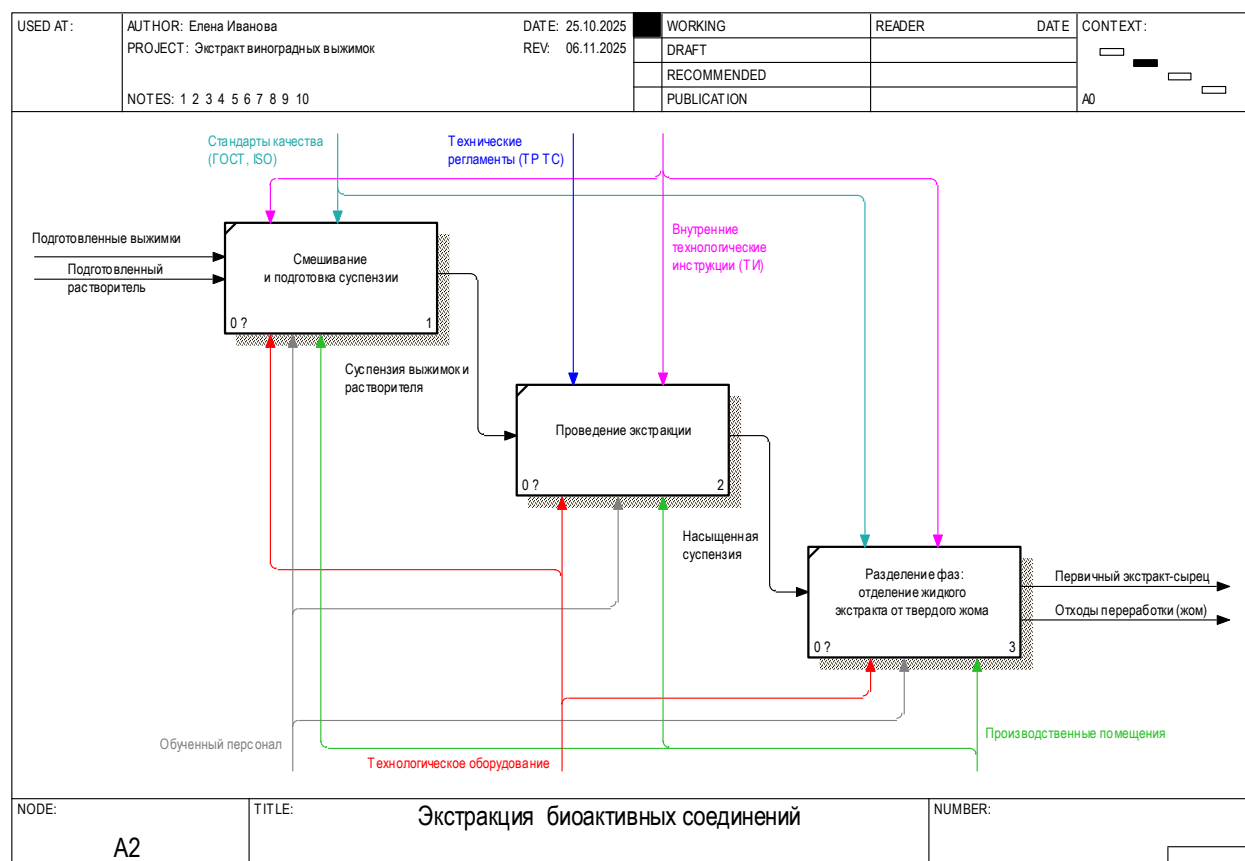


Рисунок 3.10 – Декомпозиция функции «Экстракция биоактивных соединений»

Процесс состоит из следующих этапов:

- смешивание выжимок с растворителем в установке (экстракторе);
- проведение экстракции по заданному режиму (температура, время, перемешивание). В качестве методов могут выступать: мацерация, перколяция, ультразвуковая экстракция;
- разделение фаз: отделение жидкого экстракта от твердого жома (фильтрация, прессование, центрифугирование).

Главным управляющим воздействием процесса является технологическая инструкция на экстракцию, которая определяет:

- для этапа 1 – точное массовое/объемное соотношение сырья и растворителя;
- для этапа 2 – критически важные параметры: температуру, время процесса, скорость перемешивания, значение pH (для максимального выхода полифенолов);
- для этапа 3 – способ разделения, параметры оборудования (размер пор фильтра, давление, скорость).

Также этап проведение экстракции по заданному режиму осуществляется под контролем ТР ТС 010/2011 «О безопасности оборудования», который регулирует безопасность работы экстрактора, особенно если процесс идет под давлением.

Ключевым механизмом процесса является оборудование: смесители и дозаторы для этапа 1, реактор-экстрактор (основной аппарат) с рубашкой обогрева/охлаждения и мешалкой для этапа 2, фильтр-пресс (для больших объемов) и центрифуга (для тонкого разделения) для этапа 3. Механизмом «Персонал» в данном случае будут оператор, который управляет оборудованием по ТИ, и технолог, который следит за соблюдением режима. Особенностью механизма «Помещение» является то, что цех должен иметь взрывозащищенное исполнение (если используются легколетучие растворители), мощную вентиляцию и удобную планировку для перемещения емкостей.

Далее была произведена декомпозиция процесса «Очистка и концентрирование», модель представлена на рисунке 3.11.

Процесс также состоит из трех этапов:

- глубокая очистка (при необходимости): использование сорбентов, мембранной фильтрации для удаления белков, дубильных веществ;
- концентрирование: выпаривание под вакуумом, нанофильтрация или обратный осмос для увеличения содержания сухих веществ;
- стабилизация: внесение консервантов (например, сорбат калия) или асептический розлив для предотвращения порчи.

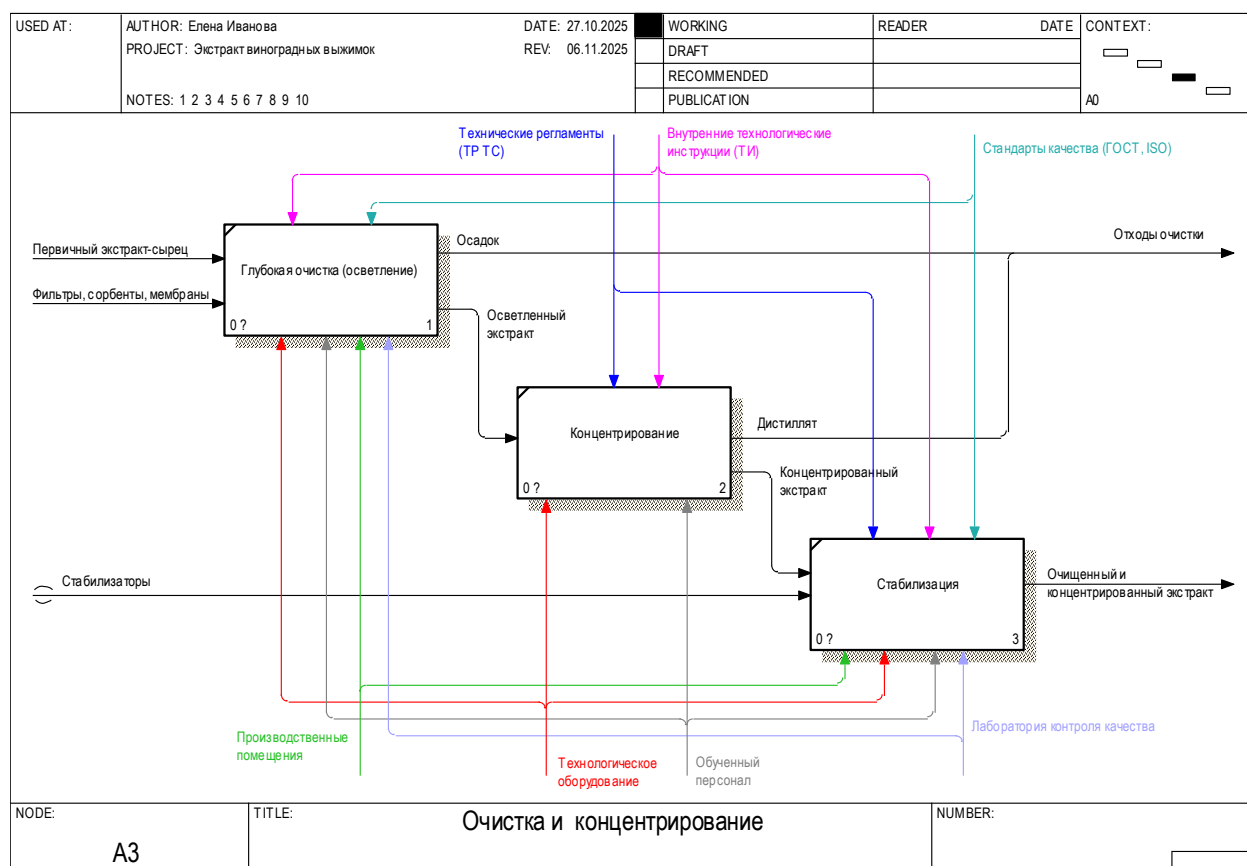


Рисунок 3.11 – Декомпозиция функции «Очистка и концентрирование»

Основными регламентирующими документами здесь выступают технологические инструкции, определяющие тип и количество сорбента для осветления, размер пор мембран (для этапа 1), задающие щадящий режим концентрирования (низкая температура и давление) для сохранения полифенолов (для этапа 2), четко регламентирующие дозировку стабилизаторов, разрешенных для функциональных продуктов (для этапа 3). Среди технических регламентов следует отметить ТР ТС 010/2011, регулирующий работу вакуумного оборудования, и ТР ТС 029/2012, строго лимитирующий виды и количество используемых стабилизаторов.

Используемое оборудование является специализированным для каждого этапа. Это фильтры с намывным слоем (кизельгур) или установки тангенциальной фильтрации, вакуум-выпарные аппараты (для термостабильных компонентов) или мембранные установки (для термолабильных), дозировочно-

смесительные комплексы. Механизм «Лаборатория» критически важен на этом этапе. Именно там проводится контроль освещения после этапа 1 и проверяются микробиологические показатели и эффективность стабилизаторов после этапа 3. Особенность персонала для данного процесса является то, что операторы и технологи должны иметь высокую квалификацию для управления сложным оборудованием. А используемые помещения требуют отдельной планировки под вакуумные системы и зон с чистотой воздуха для стабилизации и розлива.

В качестве заключительного подпроцесса выступает функция стандартизации и контроля качества. Ее декомпозиция приведена на рисунке 3.12.

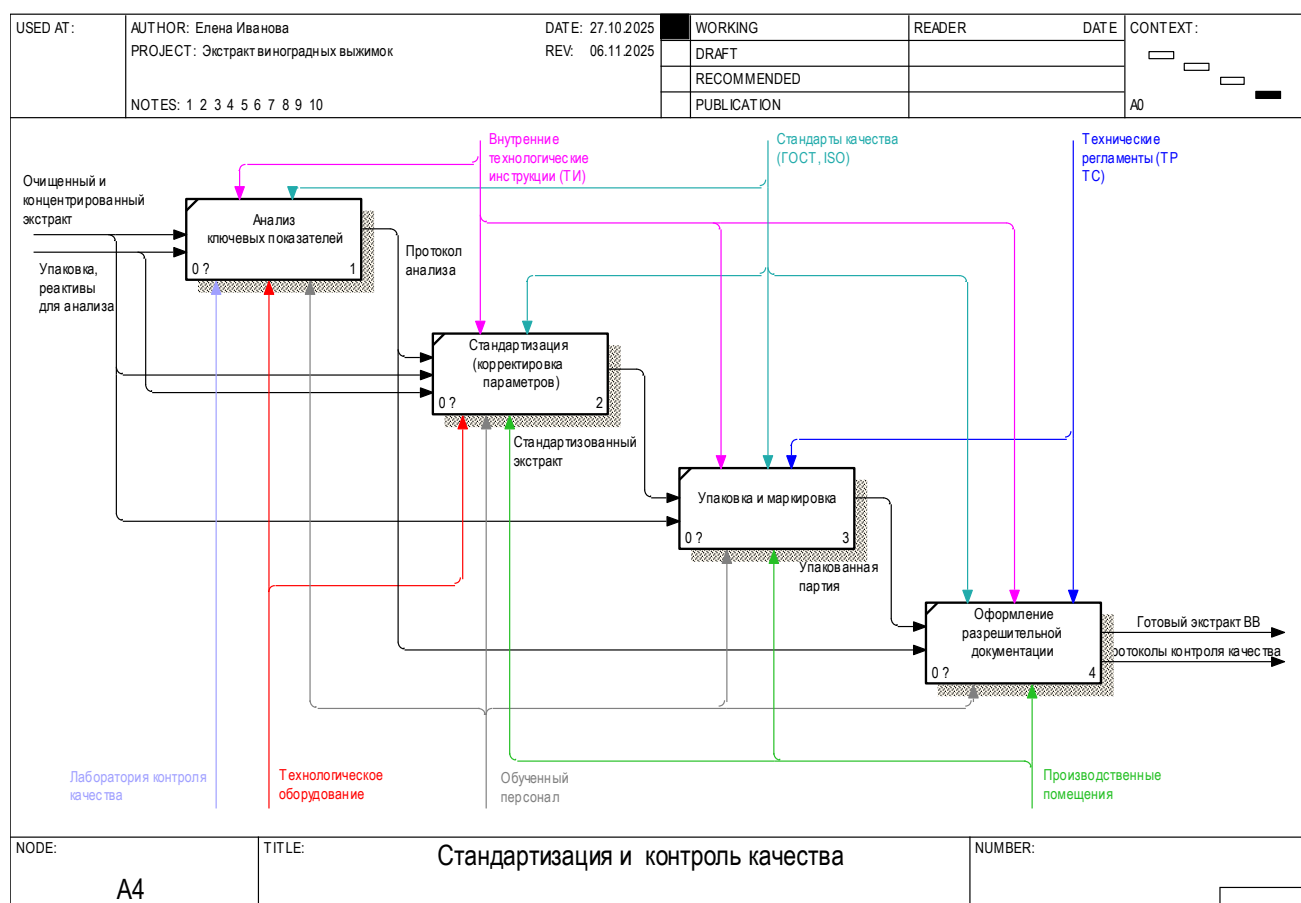


Рисунок 3.12 – Декомпозиция функции «Стандартизация и контроль качества»

Модель представляет собой совокупность четырех этапов:

– анализ ключевых показателей: содержание полифенолов (по Фолину-Чокальтеу), антиоксидантная активность (по ABTS/FRAP), микробиологические показатели;

- стандартизация: приведение параметров экстракта к заданным спецификациям (например, разбавление или документирование для обеспечения стабильности партии);
- упаковка и маркировка готового экстракта;
- оформление паспорта качества и протоколов испытаний.

Используемые технологические инструкции для описываемого процесса регламентируют:

- для этапа 1 – частоту и перечень контролируемых параметров.;
- для этапа 2 – алгоритм действий, если показатели не соответствуют ТУ, например, разрешенное разбавление;
- для этапа 3 – тип и материалы упаковки, условия хранения.

Технические регламенты Таможенного союза обеспечивают юридическую чистоту мероприятий. Технические условия и внутренние спецификации – главный документ, с которым сверяются на всех этапах, определяя целевые значения качества.

Механизмы данного процесса имеют следующие особенности. В качестве ключевого механизма выступает лаборатория. Без ее оснащения и квалифицированного персонала объективный контроль качества невозможен. Оборудование в данном случае – это в основном разливочные и упаковочные линии (этап 3), а также дозаторы для корректировки (этап 2). Персонал требуется разный: от высококвалифицированного химика-аналитика (этап 1) до технолога, принимающего решение о стандартизации (этап 2), и специалиста по документообороту (этап 4). Помещения включают в себя как чистую лабораторию, так и складские помещения для хранения готовой продукции.

В результате построения моделей можно сделать вывод, что функциональное моделирование превращает эмпирический процесс получения экстракта выжимок винограда для функционального напитка в управляемую систему, где каждый параметр обоснован и прослеживается от сырья до готового напитка.

3.3.2 Автоматизированное прогнозирование органолептических показателей напитка на основе содержания редуцирующих сахаров в экстракте

По итогам проведенных исследований был разработан авторский цифровой инструмент, предназначенный для автоматизации отдельных этапов определения оптимальных параметров экстракции биологически активных веществ (БАВ) из выжимок винограда, – программный комплекс «Численное моделирование органолептических показателей напитка брожения из выжимок белого винограда». С его помощью можно прогнозировать органолептические показатели напитка на основе содержания сахара в экстракте из выжимок и добавляемого по рецептуре сахара-песка. В буфер обмена и в поля вывода по клику помещается прогноз внешнего вида в виде фото, описания и балльной оценки, аромат, вкус, цвет и рекомендации по дальнейшей переработке полученного напитка.

Программа предназначена для применения на предприятиях по производству безалкогольных напитков, может быть полезна при проведении исследований в сфере процессов брожения.

Основные характеристики приложения. Тип ЭВМ: IBM PC – совместимый. Язык программирования: Object Pascal (Lazarus). Операционные системы: Windows 7, Windows 10, Windows 11.

Функциональные возможности системы могут быть формализованы в нотации UML в виде диаграммы вариантов использования (Use-Case Diagram). Она представлена на рисунке 3.13.

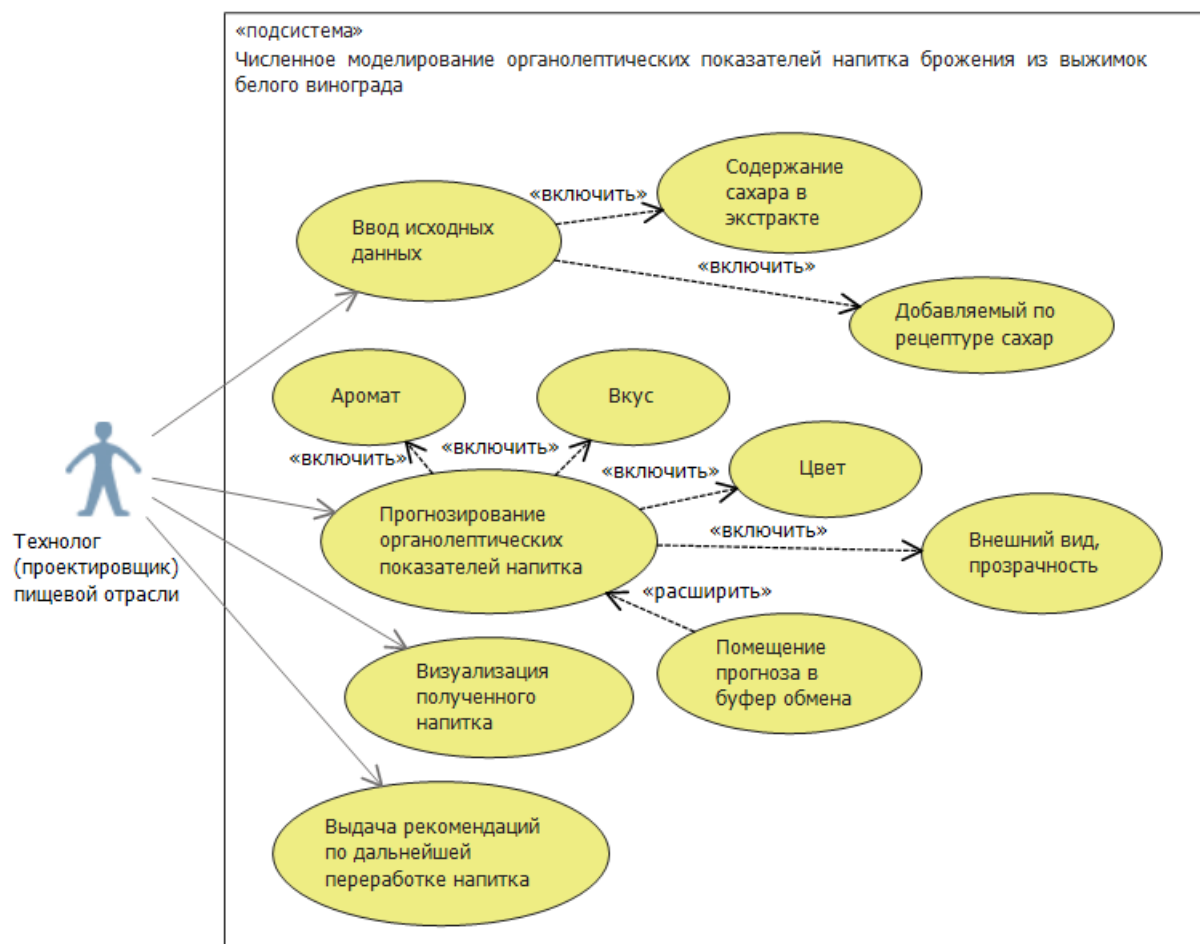


Рисунок 3.13 – Диаграмма вариантов использования

Основным актером (пользователем) системы является технолог (проектировщик) пищевой отрасли. В его распоряжение предоставляется следующий функционал:

- ввод исходных данных для расчета (содержание сахара в экстракте из выжимок и добавляемого по рецептуре сахара-песка). В системе также предусмотрена проверка корректности введенных данных;
- расчет прогнозных данных об органолептических показателях напитка: внешний вид и прозрачность, аромат, вкус, цвет, а также суммарный прогнозный балл. Результаты прогноза копируются в буфер обмена и могут быть в дальнейшем вставлены в любое стороннее приложение;
- выдача пользователю рекомендации по дальнейшей переработке полученного напитка;

– описание внешнего вида полученного напитка (словесное и с графической визуализацией).

Алгоритм обработки информации в приложении использует таблицы оценок, полученных экспериментальным путем от экспертов и хранящих сведения о различных органолептических оценках напитка для разных кортежей исходных данных. После ввода пользователем информации о содержании сахара в экстракте и количестве сахара в рецептуре происходит поиск в этих таблицах записи, наиболее приближенной к комбинации исходных данных пользователя. Для этого вводится понятие некоего «расстояния» между кортежем пользовательских данных и кортежем очередного элемента таблицы. Оно вычисляется по правилам нахождения расстояния между точками (корень и суммы разностей квадратов координат точек). Из найденной записи извлекаются соответствующие ей органолептические оценки, которые затем ложатся в основу выработки рекомендаций.

Обобщенная блок-схема алгоритма работы приложения приведена на рисунке 3.14.

Для запуска программы нужно выполнить файл «organoleptic.exe». Главное окно приложения содержит текстовые поля для ввода данных и отображения результатов. Пересчет прогнозов происходит автоматически при изменении пользователем данных о содержании сахара в экстракте из выжимок или добавляемого по рецептуре сахара-песка. При вводе неверных исходных данных (не попадающих в допустимые интервалы) соответствующее поле ввода подсвечивается цветом, расчет прогноза не производится. Результаты работы программы приведены в Приложении Г. По результатам разработки приложения получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ (приложение Д).

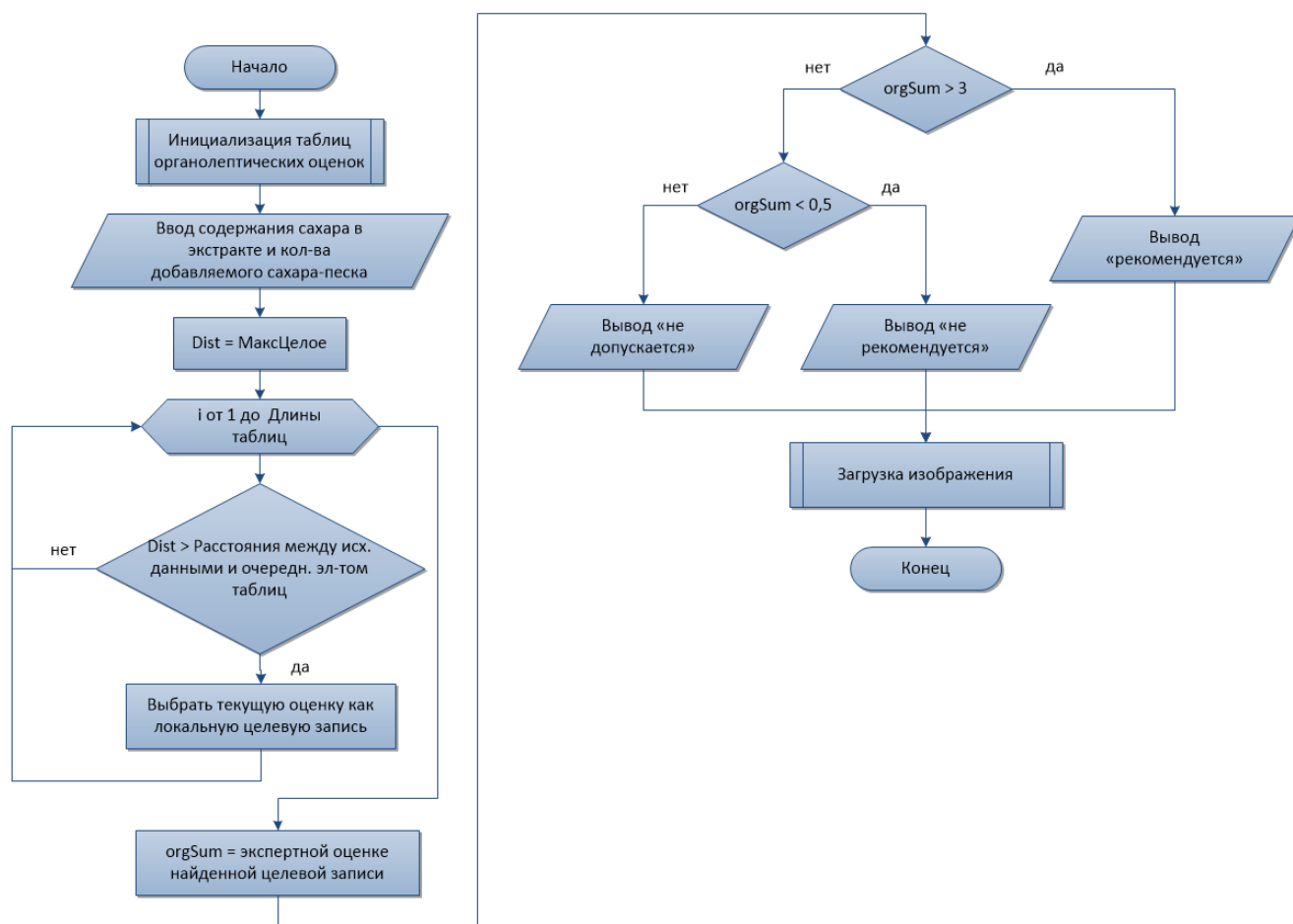


Рисунок 3.14 – Обобщенная блок-схема алгоритма

3.4 Исследование влияния технологических режимов на процесс микробной биотрансформации экстрактов выжимок винограда с применением *Orizomyces indicī*

3.4.1 Влияние температуры и времени микробной биотрансформации экстрактов выжимок винограда на степень роста полисимбиотической культуры *Orizomyces indicī* и органолептические показатели ферментированного экстракта

По результатам комплексной оценки органолептических, физико-химических показателей в качестве наиболее перспективных объектов для дальнейших исследований были определены два вида высушенных выжимок: сбро-

женные выжимки винограда сорта Саперави как источник полифенольных соединений с высокой антиоксидантной активностью, и сладкие выжимки винограда сорта Цитронный Магарача .

Вместе с тем, для решения основной цели диссертационной работы – разработки технологии функционального безалкогольного напитка с высоким содержанием биологически активных веществ, – в качестве основного объекта для углубленных исследований на этапах экстракции, микробной биотрансформации и создания готового продукта были выбраны высушенные сброженные выжимки винограда сорта Саперави. Данный выбор обусловлен следующими факторами: максимальным содержанием полифенолов ($623\text{--}660\text{ мг/дм}^3$) и, как следствие, высоким антиоксидантным потенциалом, что является определяющим для функциональных свойств целевого продукта; стабильностью биохимического состава после сушки, что обеспечивает воспроизводимость технологических режимов; широкой распространенностью сорта Саперави в Анапа-Таманской зоне виноградарства, что гарантирует доступность и стабильность сырьевой базы для промышленного производства.

Выжимки винограда сорта Цитронный Магарача, обладающие выдающимися органолептическими характеристиками, представляют самостоятельный интерес для создания линейки напитков с улучшенными вкусоароматическими свойствами и могут быть использованы в качестве альтернативного сырья при расширении ассортимента продукции на последующих стадиях исследований.

На следующем этапе изучали влияние ключевых технологических режимов ферментации – температуры и продолжительности процесса, – на развитие полисимбиотической культуры *Orizamyces indicis* и формирование органолептических характеристик биотрансформированного экстракта выжимок винограда сорта Саперави.

В связи с особенностями метаболизма полисимбиотической культуры, сочетающей дрожжевой, молочнокислый и уксуснокислый компоненты, температурно-временные параметры оказывают решающее влияние как на скорость биосинтеза, так и на качественные показатели готового продукта.

Для определения оптимальных показателей температуры и продолжительности микробной биотрансформации использовали ротатабельный центральный композиционный план 2^2 с 4 ядерными точками, 4 звездными точками и 3 центральными повторностями (всего 11 опытов). Каждый опыт выполняли в трех повторностях. Факторы и уровни представлены в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Факторы и уровни центрального композиционного плана

Фактор	Обозначение	Нижний уровень (–1)	Центр (0)	Верхний уровень (+1)	Звездное плечо α
Температура, °C	T	25	30	35	1,414
Время, ч	τ	24	48	72	1,414

Прирост биомассы (ΔB , %) рассчитывали по формуле:

$$\Delta B = \frac{B_k - B_0}{B_0} \times 100\%, \quad (3.5)$$

где B_k – конечная сухая биомасса (г/дм³), B_0 – начальная сухая биомасса.

Результаты измерений приведены в таблице 3.15.

Таблица 3.15 – Матрица планирования и экспериментальные данные

№	T , °C	τ , ч	Прирост биомассы, %	Органолептические показатели, балл (1–5)
1	25,0	24	245,2	2,9
2	35,0	24	367,1	3,3
3	25,0	72	483,3	4,1
4	35,0	72	540,5	3,8
5	22,9	48	293,3	3,1
6	37,1	48	400,5	3,4
7	30,0	14,1	226,7	2,7
8	30,0	81,9	473,8	3,6
9	30,0	48	471,9	4,6
10	30,0	48	464,8	4,7
11	30,0	48	479,0	4,6

В итоге было выявлено, что дисперсии откликов однородны (критерий Кохрена $p > 0,05$). Для каждого отклика были построены регрессионные уравнения в кодированных переменных (x_1 – температура, x_2 – время).

Для прироста биомассы (Y_1 , %):

$$Y_1 = 471,9 + 31,8 x_1 + 128,7 x_2 - 13,9 x_1 x_2 - 30,5 x_1^2 - 56,4 x_2^2$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,94$; следовательно, модель адекватна ($F_{\text{расч}} = 1,52 < F_{\text{табл}} = 4,46$).

Для органолептической оценки (Y_2 , балл):

$$Y_2 = 4,63 + 0,12 x_1 + 0,47 x_2 - 0,13 x_1 x_2 - 0,37 x_1^2 - 0,57 x_2^2$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,96$; следовательно, модель адекватна ($F_{\text{расч}} = 1,33 < F_{\text{табл}} = 4,46$).

Анализ уравнений и графическое представление поверхностей отклика приведены на рисунках 3.15–3.17.

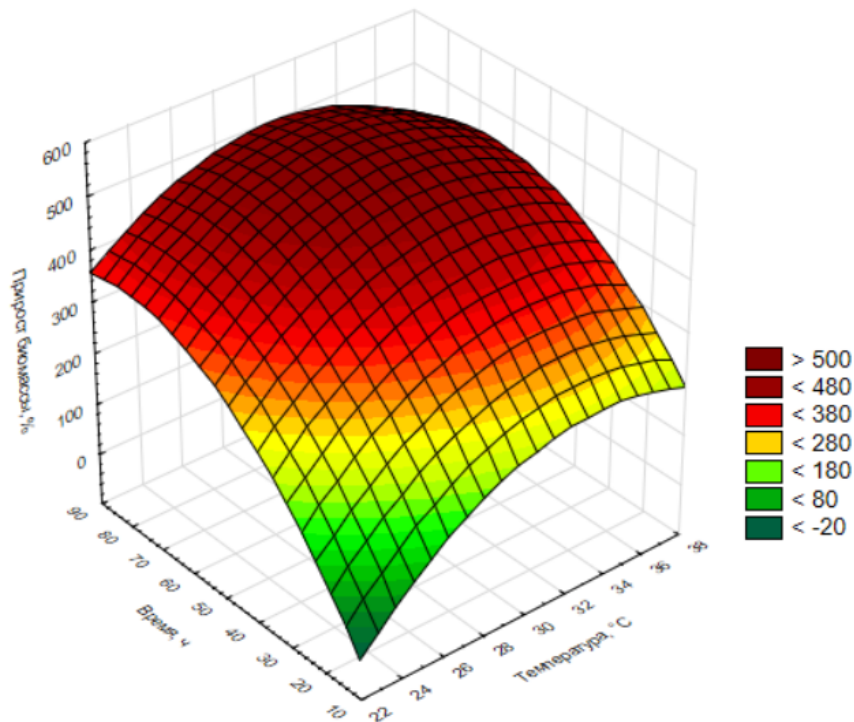


Рисунок 3.15 – Поверхность отклика для прироста биомассы

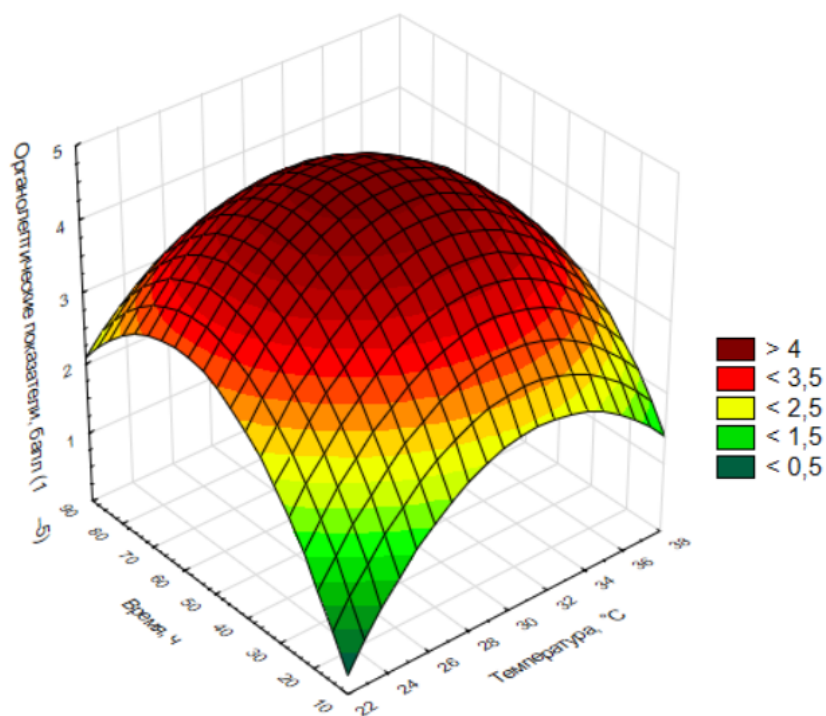


Рисунок 3.16 – Поверхность отклика для органолептических показателей

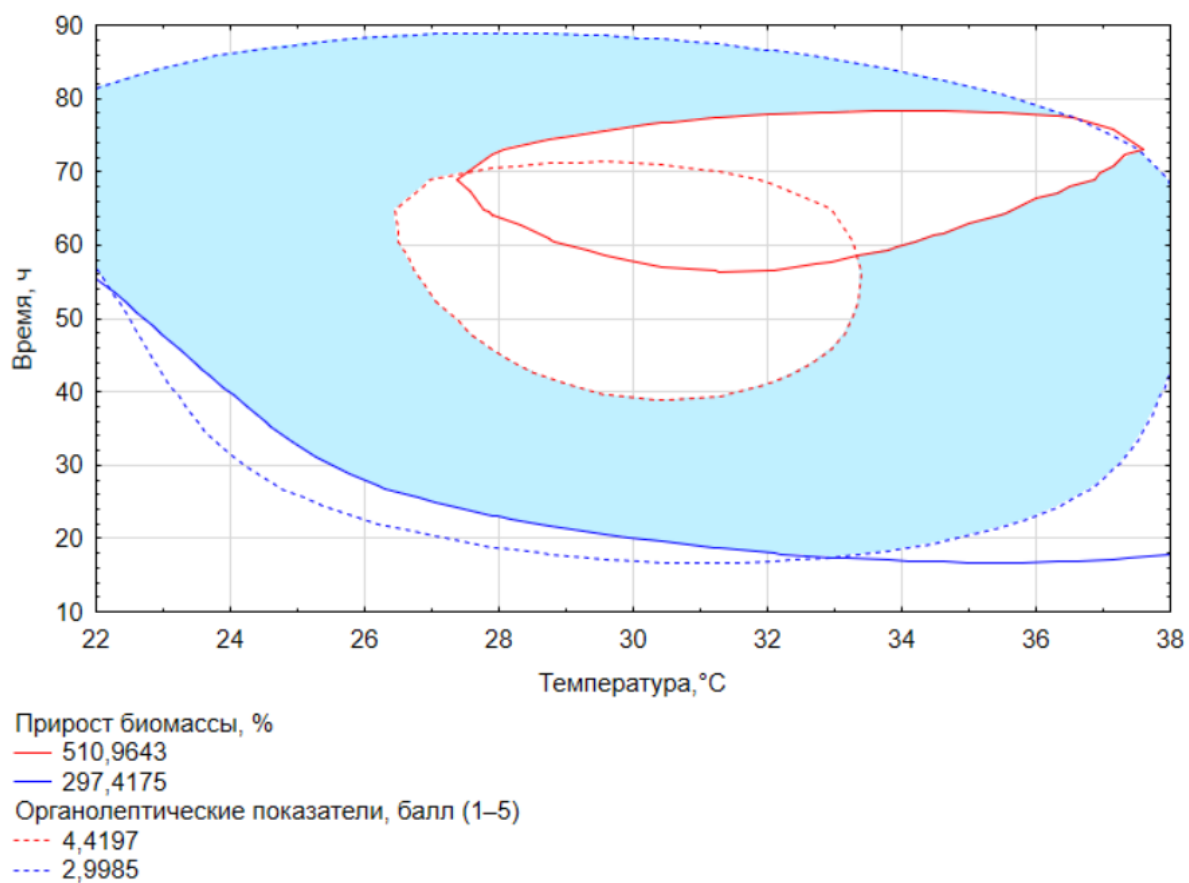


Рисунок 3.17 – Наложение контуров равных значений для двух откликов

Результаты эксперимента показали, что максимальный прирост биомассы достигается в области повышенных температур и длительного времени (ближе к 72 ч), однако органолептическая оценка имеет выраженный оптимум внутри факторного пространства вблизи центра плана. Квадратичные члены для органолептики отрицательны, что указывает на снижение качества продукта при выходе за пределы центральной области по времени.

Совместная оптимизация по двум откликам (прирост биомассы и органолептический балл) проводилась методом желательности. Приоритет отдавался органолептическим показателям, так как конечный продукт предназначен для пищевого применения.

Оптимальная область, обеспечивающая высокий прирост биомассы ($> 450\%$) и максимальную органолептическую оценку ($\geq 4,5$ балла), соответствует:

- температуре 28–32 °C;
- времени культивирования 45–48 ч.

Прогнозируемые значения в этой области составляют:

- прирост биомассы 82,1–83,0%;
- органолептический балл (среднее значение) 4,6–4,7.

Экспериментальная проверка в трех точках внутри оптимума ($T = 30\text{ °C}$, $\tau = 46\text{ ч}$) дала следующие результаты: прирост биомассы $85 \pm 15\%$, органолептическая оценка $4,6 \pm 0,1$ балла, что подтверждает адекватность моделей.

Выбранный временной интервал (45–48 ч) объясняется тем, что максимальное накопление ароматообразующих метаболитов у *Orizamyces indicis* происходит в конце логарифмической фазы и начале стационарной, что для данных условий соответствует 45–48 ч культивирования. При дальнейшем увеличении времени (свыше 50 ч) начинаются процессы автолиза и накопления вторичных метаболитов, незначительно снижающих органолептические показатели. Температурный диапазон 28–32 °C соответствует физиологическому оптимуму штамма и обеспечивает сбалансированный рост без избыточного образования нежелательных компонентов.

В результате проведенного многофакторного эксперимента (ротатабельный центральный композиционный план) установлено, что температура и время биотрансформации экстрактов выжимок винограда полисомбиотической культурой *Orizamyces indicii* оказывают значительное влияние на прирост биомассы и органолептические свойства ферментированного экстракта.

Оптимальные параметры процесса – температура 28–32 °С; время 45–48 ч. При данных условиях достигается прирост биомассы 82,1–83,0% (конечная сухая биомасса 2,4–2,5 г/дм³) и органолептическая оценка 4,6–4,7 балла по 5-балльной шкале. Полученные результаты могут служить основой для разработки технологического регламента микробной биотрансформации выжимок винограда с использованием *Orizamyces indicii*.

3.4.2 Влияние массовой доли сахарозы в экстракте из выжимок винограда сорта Саперави на активность роста полисимбиотической культуры *Orizamyces indicii* и органолептические характеристики биотрансформированного экстракта

Исследование выполнено на экстракте из высушенных выжимок винограда сорта Саперави, полученном при режимах (размер частиц 1,5 мм, температура 65 °С, продолжительность 5,5 ч, перемешивание 200 с⁻¹). Исходный экстракт имел следующие характеристики: рН 4,5, массовая доля редуцирующих сахаров 0,42 %, общих сахаров 0,68 %. В экспериментах варьировали массовую долю сахарозы от 2 до 12 % путем добавления кристаллической сахарозы. Дозировка биокультуры была фиксированной и составляла 5 % от объема среды. Ферментацию проводили при температуре 30 °С в течение 48 ч. Результаты представлены в таблицах 3.16 и 3.17.

Установлен четко выраженный оптимум роста при массовой доле сахарозы 7 %, при котором наблюдаются максимальный прирост биомассы (85,3 %) и наибольшая скорость роста (1,78 %/ч).

Таблица 3.16 – Влияние массовой доли сахарозы в экстракте на активность роста *Orizamyces indic* (дозировка биокультуры 5 %)

Массовая доля сахарозы, %	Прирост биомассы за 48 ч, %	Скорость роста, %/ч	Потребление сахарозы, %	Конечная кислотность, pH	Образование этанола, %
3	45,2 ± 2,3	0,94 ± 0,05	78,5 ± 3,9	4,2 ± 0,2	0,8 ± 0,04
5	68,5 ± 3,4	1,43 ± 0,07	82,3 ± 4,1	3,9 ± 0,2	1,5 ± 0,08
7	85,3 ± 4,3	1,78 ± 0,09	85,6 ± 4,3	3,6 ± 0,2	2,2 ± 0,11
9	72,8 ± 3,6	1,52 ± 0,08	79,2 ± 4,0	3,4 ± 0,2	2,8 ± 0,14
11	58,9 ± 2,9	1,23 ± 0,06	72,5 ± 3,6	3,2 ± 0,2	3,3 ± 0,17
13	42,3 ± 2,1	0,88 ± 0,04	65,8 ± 3,3	3,1 ± 0,2	3,7 ± 0,19

При более высокой массовой доле сахарозы (8–12 %) происходит прогрессирующее снижение прироста, что связано с развитием осмотического стресса и угнетением метаболической активности клеток. Потребление сахарозы также максимально при 7 % (85,6 %), тогда как при 13 % оно падает до 65,8 %, свидетельствуя о неэффективном использовании субстрата. Образование этанола, напротив, возрастает с увеличением массовой доли сахара, достигая 3,7 % при 13 %, однако это сопровождается низким выходом биомассы, что указывает на переключение метаболизма в сторону брожения в ущерб росту.

Органолептическая оценка биотрансформированного экстракта (таблица 3.17) также выявила оптимальную массовую долю сахарозы 7 %, обеспечивающую наилучший сенсорный профиль.

Таблица 3.17 – Влияние массовой доли сахарозы в экстракте из выжимок винограда сорта Саперави на органолептические показатели биотрансформированного экстракта *Orizamyces indic* (по 5-балльной шкале)

Массовая доля сахарозы, %	Внешний вид и прозрачность	Наличие пленки на поверхности	Аромат	Вкус	Цвет	Средний балл
3	3,0±0,2	5,0±0,2	3,3±0,2	3,0±0,2	3,0±0,2	3,1±0,2
5	4,0±0,2	5,0±0,2	3,7±0,2	3,6±0,2	4,0±0,2	3,5±0,2
7	4,0±0,2	5,0±0,2	4,1±0,2	4,3±0,2	5,0±0,2	4,0±0,2
9	4,0±0,2	5,0±0,2	3,9±0,2	3,9±0,2	4,0±0,2	3,8±0,2
11	5,0±0,2	4,0±0,2	3,6±0,2	3,3±0,2	5,0±0,2	3,4±0,2
13	5,0±0,2	3,0±0,2	3,3±0,2	2,7±0,1	5,0±0,2	3,0±0,2

Для определения оптимального количества вносимого инокулята проведена серия опытов с фиксированной массовой долей сахарозы 7 % (близкой к предварительному оптимуму) и варьированием массовой доли *Orizomyces indic* от 0 до 8 %. Остальные условия ферментации: температура 30 °С, продолжительность 48 ч. Результаты органолептической оценки представлены в таблице 3.18.

Таблица 3.18 – Органолептические показатели биотрансформированного экстракта в зависимости от массовой доли *Orizomyces indic* (концентрация сахарозы 7 %)

Массовая доля полисимбиотической культуры, %	Внешний вид и прозрачность	Наличие пленки на поверхности	Аромат	Вкус	Цвет	Средний балл
0	2,0±0,2	5,0±0,2	2,0±0,2	1,8±0,2	2,0±0,2	1,9±0,2
2	3,0±0,2	5,0±0,2	3,0±0,2	2,8±0,2	3,0±0,2	2,9±0,2
4	4,0±0,2	5,0±0,2	4,0±0,2	3,3±0,2	4,0±0,2	3,5±0,2
6	5,0±0,2	5,0±0,2	5,0±0,2	5,0±0,2	5,0±0,2	5,0±0,2
8	2,0±0,2	3,0±0,2	3,0±0,2	2,0±0,2	3,0±0,2	2,3±0,2

Установлено, что повышение дозировки до 4 % улучшает показатели, однако оптимальной является дозировка 6 %, при которой достигаются максимальные оценки по всем параметрам. Дальнейшее увеличение до 8 % приводит к появлению грибных тонов, излишней кислотности и легкой горечи, что резко снижает качество.

3.4.3 Многофакторный эксперимент по оптимизации параметров ферментации экстракта

Однофакторные опыты позволили установить области оптимума для каждого фактора в отдельности, однако для учета возможного взаимодействия и точного определения комбинации, обеспечивающей максимальные значения как биомассы, так и органолептической оценки, был реализован центральный композиционный план.

Планирование эксперимента. В качестве независимых переменных выбраны:

- X_1 – массовая доля сахарозы, % (диапазон 2...12 %);
- X_2 – массовая доля полисимбиотической культуры, % (диапазон 2...8 %).

Уровни факторов и интервалы варьирования приведены в таблице 3.19.

Таблица 3.19 – Уровни факторов и интервалы варьирования

Уровень	Концентрация сахарозы X_1 , %	Дозировка полисимбиотической культуры X_2 , %
Нижний (–1–1)	3	2
Верхний (+1+1)	13	8
Основной (00)	7	5
Интервал варьирования	5	3

Матрица планирования включала 13 опытов: 4 точки полного факторного эксперимента 2^2 (опыты 1–4), 4 звездные точки ($\alpha=\pm 1$ по одному фактору при нулевом уровне другого) – опыты 5–8, и 5 повторений в центре плана (опыты 9–13) для оценки дисперсии воспроизводимости. В качестве откликов приняты:

- Y_1 – прирост биомассы за 48 ч, %;
- Y_2 – общая органолептическая оценка, балл.

Результаты эксперимента представлены в таблице 3.20.

Таблица 3.20 – Матрица планирования и результаты эксперимента

№ опыта	x_1	x_2	X_1 , %	X_2 , %	Y_1 , %	Y_2 , балл
1	-1	-1	3	2	$38,2 \pm 1,9$	$2,8 \pm 0,2$
2	+1	-1	13	2	$44,5 \pm 2,2$	$2,5 \pm 0,2$
3	-1	+1	3	8	$41,3 \pm 2,1$	$2,3 \pm 0,2$
4	+1	+1	13	8	$48,6 \pm 2,4$	$2,1 \pm 0,2$
5	-1	0	3	5	$52,7 \pm 2,6$	$3,4 \pm 0,2$
6	+1	0	13	5	$60,2 \pm 3,0$	$3,0 \pm 0,2$
7	0	-1	7	2	$68,4 \pm 3,4$	$3,8 \pm 0,2$
8	0	+1	7	8	$72,5 \pm 3,6$	$4,2 \pm 0,2$
9	0	0	7	5	$82,1 \pm 4,1$	$4,5 \pm 0,2$
10	0	0	7	5	$83,0 \pm 4,2$	$4,6 \pm 0,2$
11	0	0	7	5	$81,5 \pm 4,1$	$4,5 \pm 0,2$
12	0	0	7	5	$82,8 \pm 4,1$	$4,5 \pm 0,2$
13	0	0	7	5	$82,3 \pm 4,1$	$4,6 \pm 0,2$

Для каждого отклика рассчитаны коэффициенты регрессионного уравнения второго порядка (в кодированных переменных):

$$\hat{Y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2.$$

После проверки значимости коэффициентов по t-критерию и исключения незначимых ($p > 0,05$) получены следующие адекватные модели ($R_2 > 0,97$, $F_{\text{расч}} > F_{\text{табл}}$):

– для прироста биомассы:

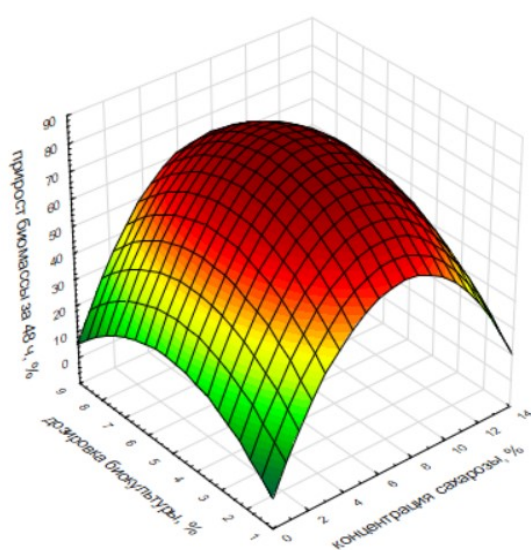
$$\hat{Y}_1 = 82,34 + 3,12x_1 + 4,28x_2 - 18,45x_1^2 - 12,60x_2^2;$$

– для органолептической оценки:

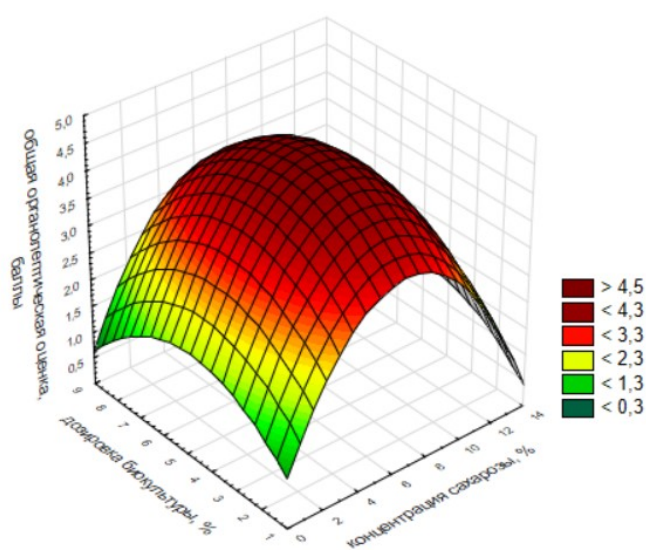
$$\hat{Y}_2 = 4,54 - 0,95x_1^2 - 0,82x_2^2$$

Линейные члены и взаимодействие в модели для Y_2 оказались незначимы и исключены. Положительные линейные эффекты в модели для Y_1 указывают на стимулирующее влияние увеличения обоих факторов вблизи центра, а отрицательные квадратичные члены – на наличие максимума.

На основе полученных уравнений построены поверхности отклика (рисунок 3.18) и наложены контуры равных значений (рисунок 3.19).



(а) Прирост биомассы, %



(б) Органолептическая оценка, балл

Рисунок 3.18 – Поверхности отклика для прироста биомассы (а) и органолептической оценки (б)

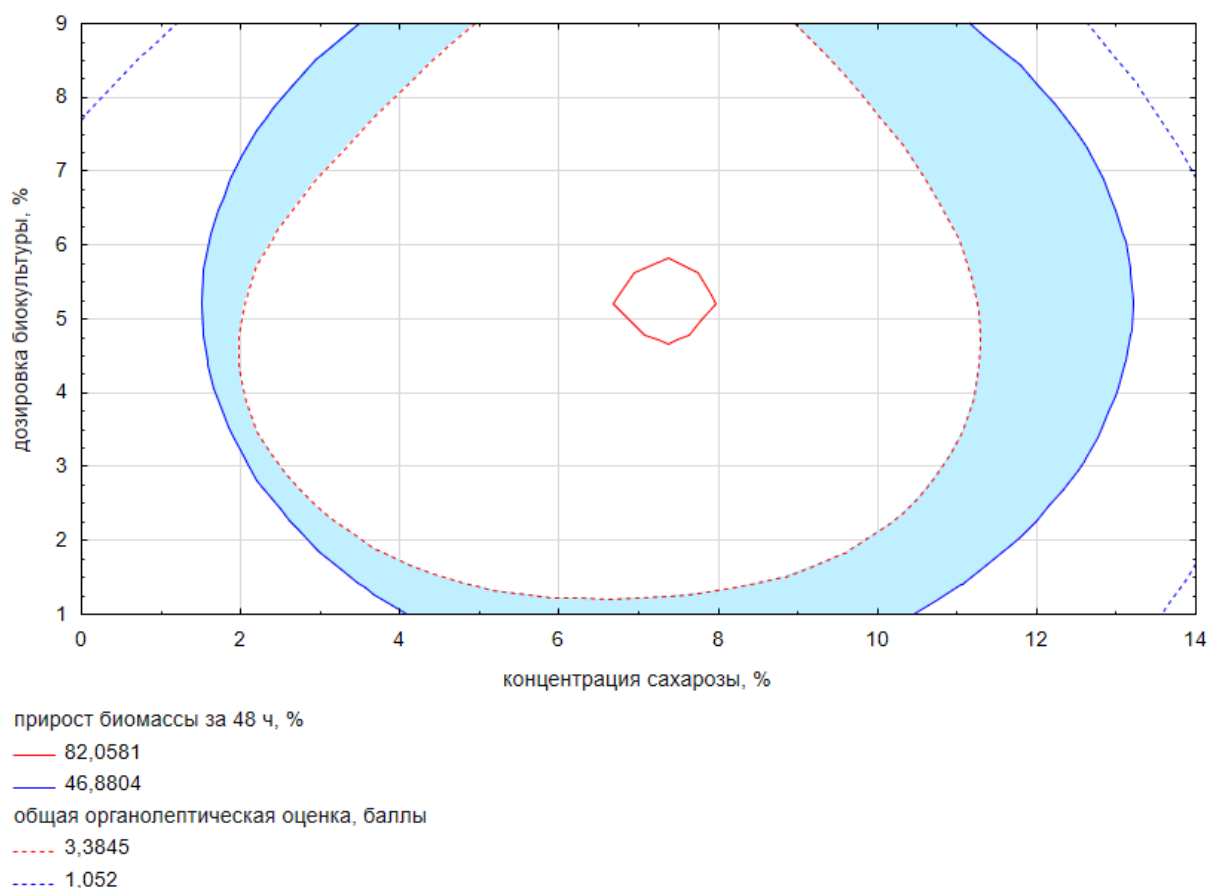


Рисунок 3.19 – Наложение контуров равных значений для двух откликов

Максимум прироста биомассы достигается внутри области. Решение системы частных производных дает оптимальные кодированные значения $x_{1,\text{опт}}=0,085$, $x_{2,\text{опт}}=0,170$, что соответствует натуральным значениям:

$$X_{1,\text{опт}}=7+0,085 \cdot 5=7,43 \approx 7,4 \%; \quad X_{2,\text{опт}}=5+0,170 \cdot 3=5,51 \approx 5,5 \%.$$

Прогнозируемый прирост биомассы при этом составляет 82,7 %, органолептическая оценка – 4,55 балла.

Для органолептической оценки максимум (4,57 балла) соответствует $X_1=6,5 \%$, $X_2=4,8 \%$, однако прирост биомассы в этой точке снижается до 81,2 %. Для достижения компромисса заданы целевые уровни: $Y_1 \geq 80\%$, $Y_2 \geq 4,5$ балла. Этим условиям удовлетворяет область:

$$X_1=6,2 \dots 8,5 \%; \quad X_2=4,7 \dots 6,3 \%.$$

В качестве рабочей точки выбраны $X_1=7,0$ %, $X_2=5,5$ %, обеспечивающие хорошую воспроизводимость и запас по технологическим допускам. При данных условиях прогноз составляет $\hat{Y}_1=82,3$ %, $\hat{Y}_2=4,54$ балла.

Полученный напиток характеризуется сложным ароматом, сбалансированным вкусом с приятной кислинкой и чистым послевкусием, что соответствует оценке 4,5 балла.

Таким образом, был реализован центральный композиционный план для двух факторов, позволивший получить адекватные математические модели зависимости прироста биомассы и органолептической оценки от концентрации сахарозы и дозировки инокулята.

Определена компромиссная область параметров, обеспечивающих одновременно высокий выход биомассы (не менее 80 %) и отличные сенсорные характеристики (не ниже 4,5 балла): концентрация сахарозы 6,2–8,5 %, дозировка биокультуры 4,7–6,3 %.

Рекомендованы оптимальные технологические режимы ферментации экстракта из выжимок винограда сорта Саперави: концентрация сахарозы 7,0 %, дозировка полисимбиотической культуры 5,5 %.

3.5 Исследование динамики биохимических превращений и формирование органолептических показателей качества экстракта в процессе микробной биотрансформации

В рамках разработки рецептуры и технологии безалкогольного напитка было проведено исследование динамики физико-химических показателей и содержания биологически активных веществ в процессе ферментации. В таблице 3.21 приведена экспериментальная динамика физико-химических и биохимических показателей экстракта из высушенных сброженных выжимок винограда сорта Саперави (хранение 6 мес.) в процессе микробной биотрансформации культурой *Orizomyces indicis*. Экстракт получен при рациональных параметрах

(гидромуль 1:6, 65 °С, фракция 1,5 мм), освобожден от твердой фазы и обогащен сахарозой до 70 г/дм³; ферментацию вели при 30 °С.

Таблица 3.21 – Динамика физико-химических и биохимических показателей при микробной биотрансформации экстракта выжимок винограда

Параметр	0 ч (старт)	12 ч	24 ч	36 ч	48 ч (финиш)
Массовая доля растворимых сухих веществ, %	8,4 ± 0,5	7,0 ± 0,5	4,8 ± 0,5	3,1 ± 0,5	2,4 ± 0,5
Массовая концентрация титруемых кислот, г/дм ³ (в пересчете на винную)	4,8 ± 0,1	5,1 ± 0,1	5,6 ± 0,1	6,0 ± 0,1	6,3 ± 0,1
pH	3,7 ± 0,1	3,6 ± 0,1	3,5 ± 0,1	3,4 ± 0,1	3,4 ± 0,1
Массовая концентрация общих сахаров, г/дм ³	72,3 ± 3,6	57,8 ± 2,9	36,2 ± 1,8	19,3 ± 1,0	12,1 ± 0,6
Массовая концентрация редуцирующих сахаров, г/дм ³	4,1 ± 0,3	6,2 ± 0,3	4,4 ± 0,3	2,4 ± 0,2	1,4 ± 0,1
Массовая концентрация общих полифенолов, мг/дм ³ GAE	677 ± 24	722 ± 27	749 ± 30	770 ± 30	756 ± 30
Массовая концентрация флавоноидов, мг/дм ³ катехина	299 ± 13	319 ± 15	342 ± 17	333 ± 15	324 ± 14
Массовая концентрация антоцианов, мг/дм ³	136 ± 6	145 ± 7	151 ± 7	137 ± 6	127 ± 5
Массовая концентрация аскорбиновой кислоты, мг/дм ³	0,9 ± 0,1	0,75 ± 0,1	0,62 ± 0,05	0,36 ± 0,02	0,25 ± 0,02
Массовая концентрация витаминов группы В (суммарно), мкг/дм ³	790 ± 40	850 ± 43	900 ± 45	1120 ± 56	1150 ± 58
Антиоксидантная активность, ммоль/дм ³ TEAC	12,1 ± 0,6	14,0 ± 0,7	16,0 ± 0,8	14,1 ± 0,7	13,5 ± 0,7

Анализ таблицы показывает, что наиболее значимое накопление целевых биологически активных веществ происходит во второй половине процесса. Массовая концентрация общих полифенольных соединений возрастает вплоть до 36 часов, достигая абсолютного максимума 770 мг/дм³ (прирост 14 % к старту), после чего практически не меняется (756 мг/дм³ к 48 ч).

Содержание флавоноидов, хотя и проходит через пик в районе 24 часов, остается на достаточно высоком уровне и через 36 часов: 333 мг/дм³, что суще-

ственно превышает стартовую величину (299 мг/дм³). Массовая концентрация антоцианов на финише процесса оказывается даже несколько меньше, чем на старте, что обусловлено их конденсацией с проантоцианидинами и образованием стабильных полимерных пигментов. Это не снижает, а стабилизирует антиоксидантный потенциал продукта. В целом незначительное снижение этих показателей по сравнению с экстремумом компенсируется дальнейшим ростом массовой концентрации общих полифенолов, то есть накоплением иных фенольных фракций, в том числе продуктов частичной конденсации, также обладающих биоактивностью.

Параллельно в интервале 36–48 часов фиксируется максимальная массовая концентрация витаминов группы В (1120–1150 мкг/дм³), что свидетельствует об активном биосинтезе этих кофакторов микробной культурой и вносит дополнительный вклад в функциональную ценность продукта. Массовая концентрация аскорбиновой кислоты, изначально низкая (0,9 мг/дм³), к 36–48 часам снижается до 0,36–0,25 мг/дм³, однако, вследствие малого абсолютного вклада в общую антиоксидантную активность, эти потери не являются критичными.

Существенное технологическое преимущество более длительной ферментации заключается в практически полной утилизации добавленной сахарозы. К 36 часам остаточное содержание общих сахаров составляет 19,3 г/дм³, а к 48 часам – 12,1 г/дм³ (против 72,3 г/дм³ на старте). Это позволяет получить напиток, соответствующий современным трендам здорового питания и предпочтительный для потребителей, ограничивающих потребление простых углеводов. Формирующийся при этом умеренно кислый профиль (массовая концентрация титруемых кислот 6,0–6,3 г/дм³, рН 3,4) типичен для ферментированных безалкогольных напитков, и обеспечивает гармоничный, освежающий вкус.

Антиоксидантная активность по ТЕАС, проходя через максимум в 24 часа (16,0 ммоль/дм³), сохраняется на высоком уровне 14,1 ммоль/дм³ в 36 часов и 13,5 ммоль/дм³ в 48 часов, что по-прежнему значительно превышает стартовое значение (12,1 ммоль/дм³). Снижение относительно пика коррелирует главным образом с уменьшением доли мономерных флавоноидов, тогда как вклад более

стабильных полифенольных фракций продолжает расти, о чем свидетельствует динамика общих полифенольных соединений.

Анализ совокупности данных позволяет заключить, что оптимальная продолжительность микробной биотрансформации находится в диапазоне 36–48 часов. При 36 часах достигается максимальная массовая концентрация общих полифенолов, сохраняется высокий уровень флавоноидов, а остаточная массовая концентрация сахаров существенно снижена, при этом потери отдельных лабильных компонентов (аскорбиновой кислоты, антоцианов) остаются в допустимых пределах благодаря тому, что основной функциональный потенциал напитка определяется полифенольным комплексом. Установленная динамика подтверждает перспективность использования ферментированного экстракта в качестве основы для функциональных напитков с повышенной биологической активностью, вносящих значительный вклад в суточное потребление полифенолов и витаминов группы В [124].

3.6 Разработка цифрового инструмента оптимизации процессов микробной биотрансформации экстракта

Для моделирования и оптимизации процесса микробной биотрансформации была разработана программа для ЭВМ «Автоматизированный расчет скорости сбраживания субстрата полисимбиотической культурой *Orizamyces Indici* в зависимости от изменения pH среды и содержания редуцирующих сахаров». Ее применение позволило установить точные зависимости скорости биопроцесса от критически важных факторов – кислотности и содержания редуцирующих сахаров, что является основой для эффективного управления ферментацией.

Приложение позволяет осуществлять автоматизированный расчет скорости сбраживания субстрата до конечной точки сбраживания с pH 3,5 с помощью полисимбиотической культуры *Orizamyces Indici* для производства напитка, обогащенного биологически-активными веществами в зависимости от pH среды и исходного количества редуцирующих сахаров в среде. Программа предназна-

на для технологов и проектировщиков, специализирующихся на пищевой отрасли. Основные характеристики приложения: тип ЭВМ – IBM PC-совместимый; язык программирования – Object Pascal (Lazarus), операционные системы – Windows 7, Windows 10, Windows 11. Функциональные требования к разработке в виде диаграммы вариантов использования представлены на рисунке 3.20.

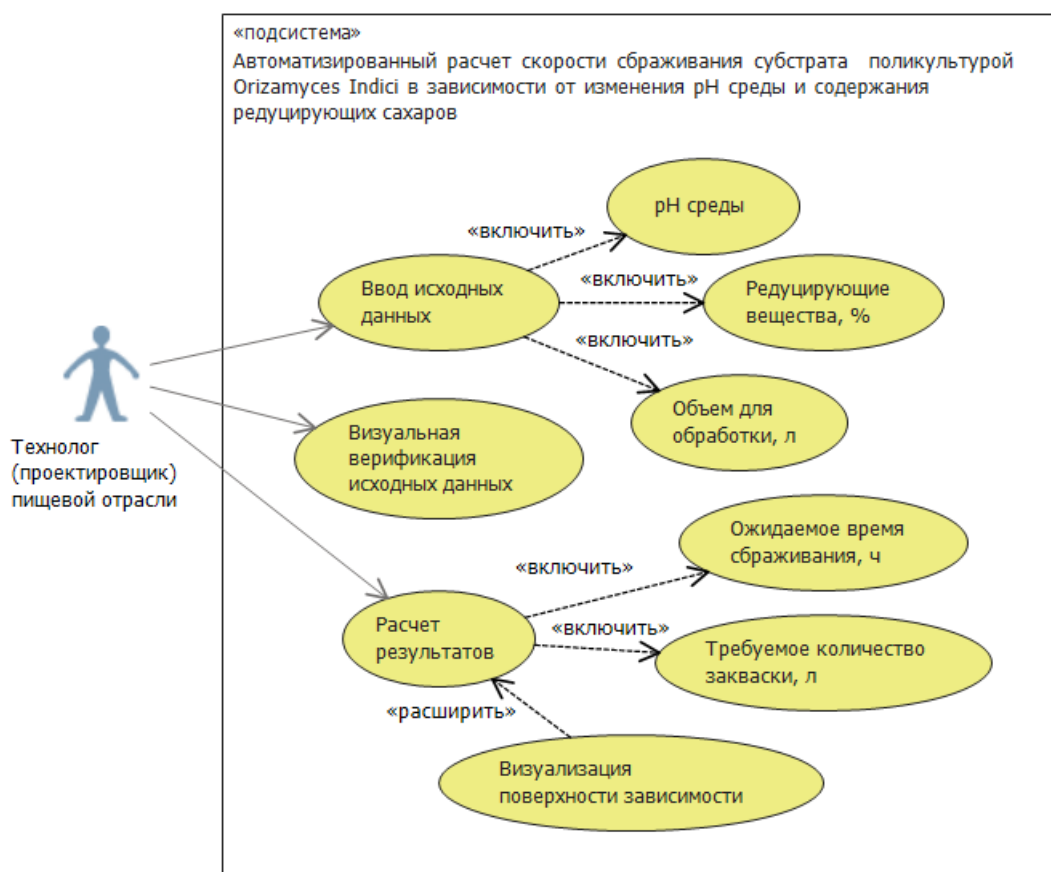


Рисунок 3.20 – Функционал программы для ЭВМ

Для пользователя выделены следующие варианты использования:

- ввод исходных данных для расчета (рН среды, процентное содержание редуцирующих сахаров в среде, а также исходный объем для обработки);
- визуальная верификация исходных данных (в случае ввода пользователем данных, выходящих за пределы корректных значений диапазонов, соответствующие поля ввода подсвечиваются цветом, расчет при этом осуществляется, но пользователь наглядно видит, что результаты расчета будут непригодны для дальнейшего использования);

– непосредственный расчет результатов (ожидаемого времени ферментации в часах и требуемого количества биокультуры в литрах).

Процесс расчета базируется на уравнении, полученном в результате разработки модели математической регрессии, описывающей зависимость скорости сбраживания субстрата от pH среды и содержания редуцирующих веществ.

Блок-схема алгоритма работы приложения приведена на рисунке 3.21.

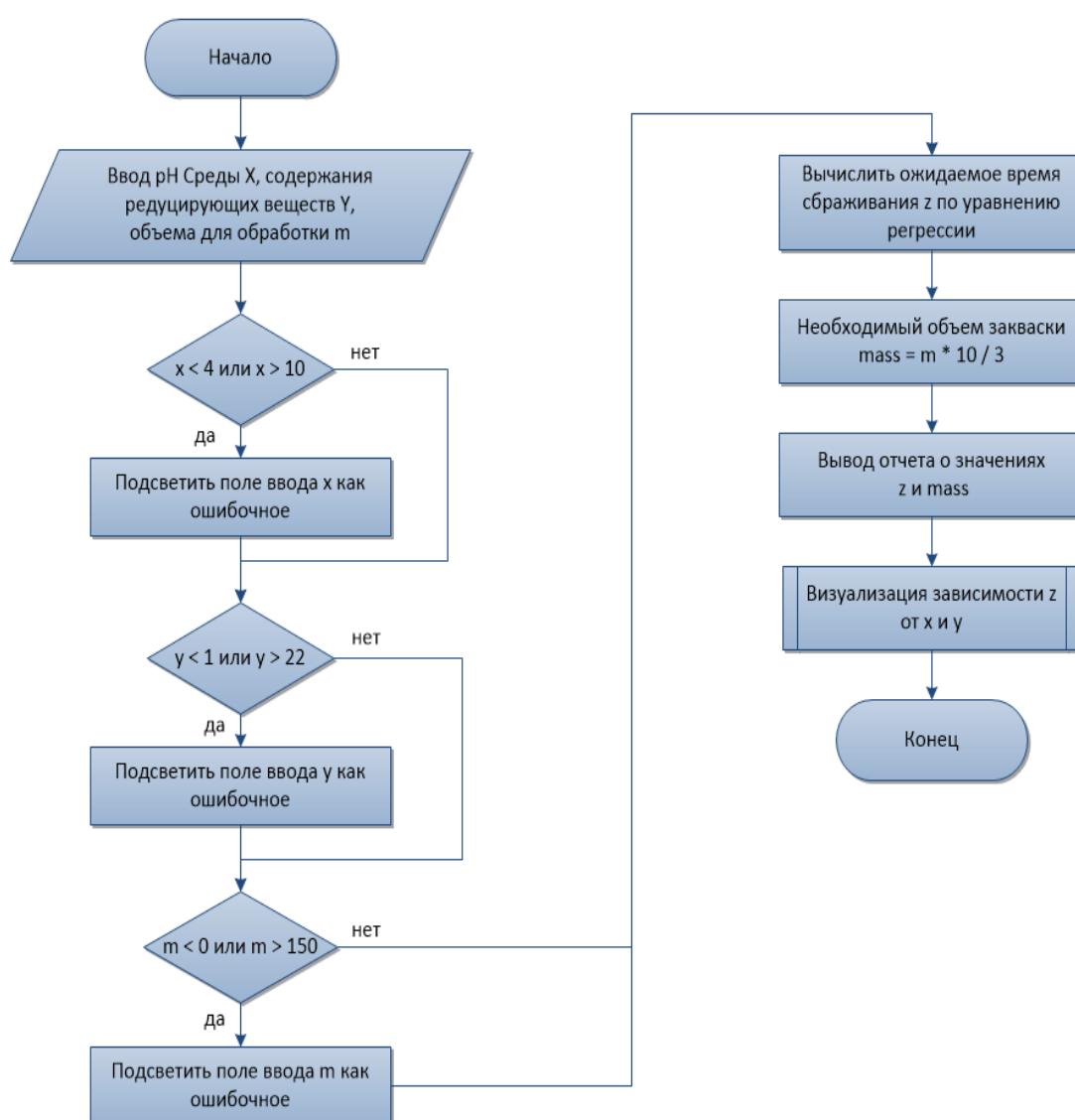


Рисунок 3.21 – Блок-схема алгоритма

Пример скриншота окна программы представлен в Приложении Г. По итогам разработки было получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Оно приведено в приложении Д.

4 РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО БЕЗАЛКОГОЛЬНОГО НАПИТКА

4.1 Разработка рецептуры и технологической схемы производства

На следующем этапе исследования проведена разработка рецептур ферментированных напитков на основе экстракта сухих сброженных выжимок винограда сорта «Саперави» с применением полисимбиотической культуры *Orizamyces indici* (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Рецептурные композиции ферментированных напитков

Компонент, ед. измерения	Образец 1 (базовый)	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5	Образец 6
Экстракт выжимок винограда, л	87,0	86	81	76	86	81
<i>Orizamyces Indici</i> , кг	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Сахар белый, кг	7,0	-	-	-	-	-
Фруктоза, кг	-	4,0	5,0	4,0	2,0	4,0
Экстракт цитрусовых, кг	-	0,5	-	-	-	-
Экстракт пряностей, кг	-	-	0,4	0,2	-	-
Пектин яблочный, кг	-	-	-	1,0	-	-
Мальтодекстрин, кг	-	-	-	-	3,0	-
Концентрат ягодный, кг	-	-	-	-	-	5,0
Вода, л	до 100	до 100	до 100	до 100	до 100	до 100

Для вариативных рецептур были выбраны модифицирующие компоненты на основе анализа их технологических и функциональных свойств.

Сахар был включен в рецептуру в качестве основного углеводного компонента, выполняющего несколько функций – субстрат для ферментации, регулятор осмотического давления и корректор вкусового профиля. Фруктоза использовалась в качестве альтернативного подсластителя с более высокой сладостью; экстракт цитрусовых – как источник терпеновых соединений и витамина С; экс-

тракт пряностей – как носитель ароматических и биологически активных соединений; пектин яблочный – как модификатор реологических характеристик; мальтодекстрин – как наполнитель и стабилизатор вкусового профиля; концентрат ягодный – в качестве многофункционального вкусоароматического компонента, источника соединения антоцианов и органических кислот.

Дозировки дополнительных компонентов устанавливались на основе предварительных экспериментов по совместимости с основной биокультурой и оптимальным влиянием на органолептические показатели. Таким образом, выбор сырьевых компонентов базировался на комплексном анализе их технологических, функциональных и экономических характеристик, что обеспечивало научную обоснованность проводимых экспериментов. Все компоненты вносили на стадии инициирования ферментации, за исключением образца 5, где мальтодекстрин добавляли по завершении процесса ферментации.

В таблице 4.2 представлены результаты комплексной органолептической оценки разработанных образцов по 10-балльной шкале.

Таблица 4.2 – Результаты сенсорного анализа напитков (10-балльная шкала)

Параметр	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5	Образец 6
Прозрачность	8	8	8	6	8	8
Вкусовой профиль	10	10	8	8	10	10
Ароматический букет	8	10	10	8	10	10
Цветовые характеристики	8	8	8	6	8	10
Средний балл	8,5	9,0	8,5	7,0	9,0	9,5

Образец 1 (базовый) отличается прозрачностью, естественной окраской виноградного сырья, чистым фруктовым ароматом с ферментативными нотами, сбалансированным вкусовым профилем с умеренной кислотностью.

Образец 2 отличается золотистым оттенком, выраженным цитрусовым букетом, освежающим вкусом с доминирующей цитрусовой кислотностью.

Образец 3 характеризуется опалесценцией, пряным ароматическим профилем с терпкими нотами, продолжительным пряным послевкусием.

Образец 4 имеет пониженную прозрачность, комплексный фруктово-пряный аромат, плотную текстуру с выраженной сладостью и остротой.

Образец 5 отличается золотистой окраской, нежным ароматом, мягким вкусом со сбалансированной сладостью и кислотностью.

Образец 6 характеризуется интенсивной рубиновой окраской, ягодным вкусовым профилем с выраженной терпкостью.

По результатам исследований установлено, что образец 4 требует дополнительной оптимизации технологии осветления. Для образца 3 рекомендована корректировка рецептурной композиции пряных компонентов. Наибольший потенциал для промышленной реализации демонстрируют образцы 1, 5 и 6, которые рекомендованы для дальнейших исследований. В качестве базового выбран образец 1.

Рецептура напитка и нормы расхода сырья представлены в таблице 4.3. Потери при брожении приняты в размере 10% от общей массы сухих веществ.

Таблица 4.3 – Рецепт и нормы расхода сырья на 100 л готового напитка «Юланта-БИО»

Наименование сырья	Единица измерения	Количество	Содержание сухих веществ, %	Содержание сухих веществ, кг
Выжимки винограда (в экстракт переходит)*	кг	15,82	92,0	4,68
Вода на экстракцию (гидромодуль 1:6)	л	94,92	0,00	0,00
Сахар	кг	7,00	99,85	6,99
Полисимбиотическая культура <i>Orizamyces indici</i> **	кг	6,00	—	—
Итого сырья (без учета удаляемых)	кг	122,83	—	11,67
Потери при брожении	кг	7,00	—	—
Готовый напиток	л	100	—	11,67

Примечание:

* Количество выжимок винограда рассчитано с учетом выхода экстракта, равным 32,2%, выжимки удаляются после производственного цикла.

**Биомасса биокультуры удаляется после завершения технологического цикла и не учитывается в массовой доле сухих веществ готового продукта.

На основании комплекса проведенных исследований была разработана технологическая документация, представленная в Приложениях Е, Ж, включающая Технические условия «Напиток «Юланта-БИО» ТУ 11.07.19 – 098 – 17021101 – 2025», Технологическую инструкцию по производству напитка «Юланта» ТИ 11.07.19.133 – 098 – 17021101 – 2025.

Структурная схема производства напитка представлена на рисунке 4.1 и включает следующие стадии: приемка сырья; подготовка сырья; подготовка воды; подготовка упаковки; приготовление экстракта из выжимок винограда; приготовление сахарного сиропа; приготовление купажа из сахарного сиропа, экстракта из выжимок винограда и воды; микробная биотрансформация купажа в присутствии консорциума *Orizomyces indicis* («рисовый гриб»); фильтрование; розлив и укупорка; пастеризация; бракераж; маркировка; хранение и транспортирование готовой продукции.

Технологическое оборудование подбирается на основе производительности и в соответствии с результатами продуктового расчета количества сырья для производства напитка (таблица 4.4). Аппаратурно-технологическая схема этапа экстракции приведена на рисунке 4.2.

Таблица 4.4 – Расчет потребности и стоимости сырья

Наименование сырья	Норма расхода на 100 л напитка		Расчет стоимости, руб.	
	единица измерения	количество	цена за 1 кг/дм ³ /мл, за цикл, руб.	стоимость на 100 литров
Выжимки виноградные	кг	15,82	75,2	1189,2
Вода	л	94,92	0,039	2,9
Полисимбиотическая культура <i>Orizomyces indicis</i> *	кг	6,0*	200,0*	1200,0
Сахар	кг	7,0	55,0	385,0
Итого:	-	-	-	2777,1

Примечание:

* Возобновляемый ресурс, рассчитывается величина амортизации полисимбиотической культуры

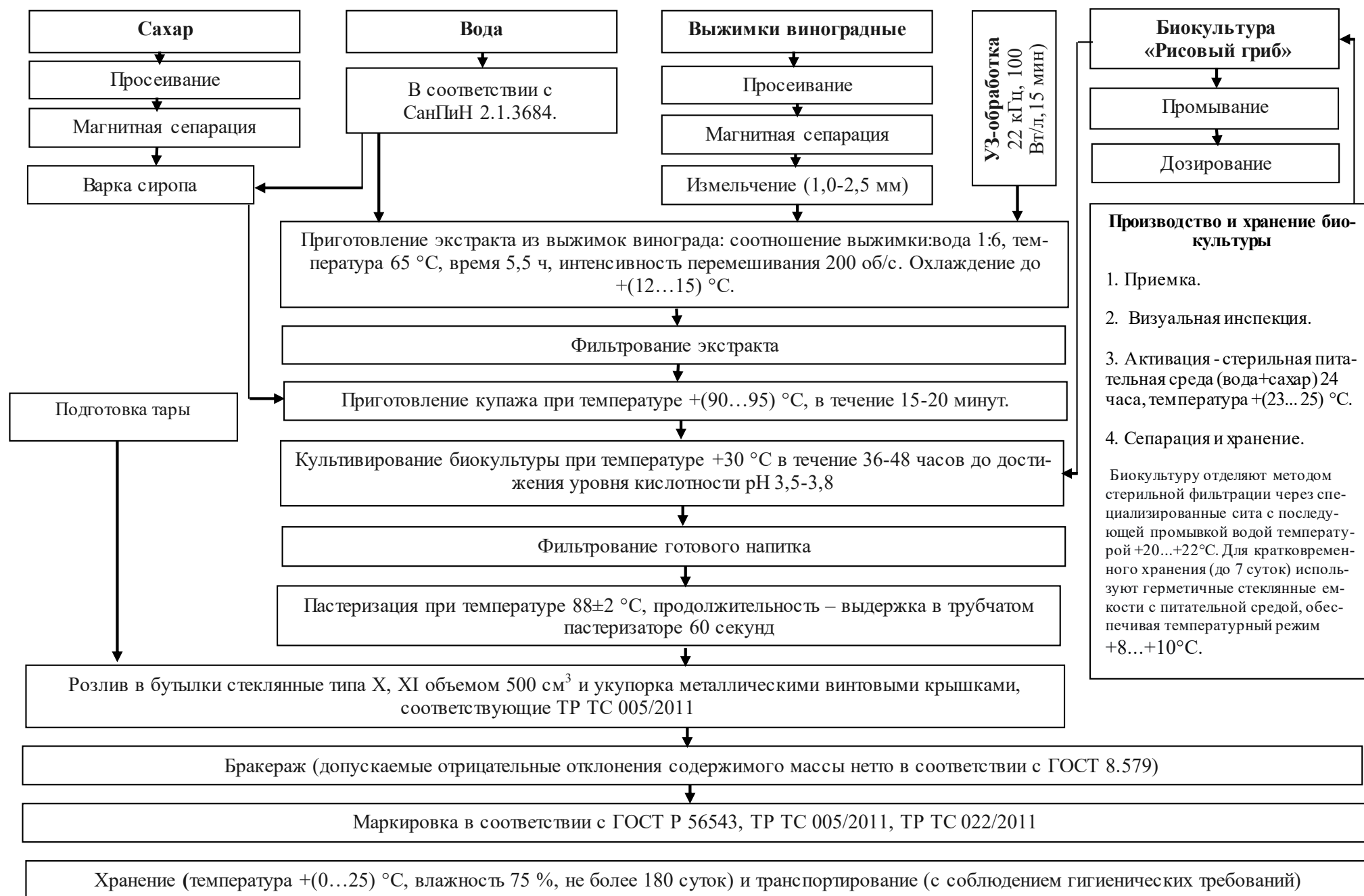
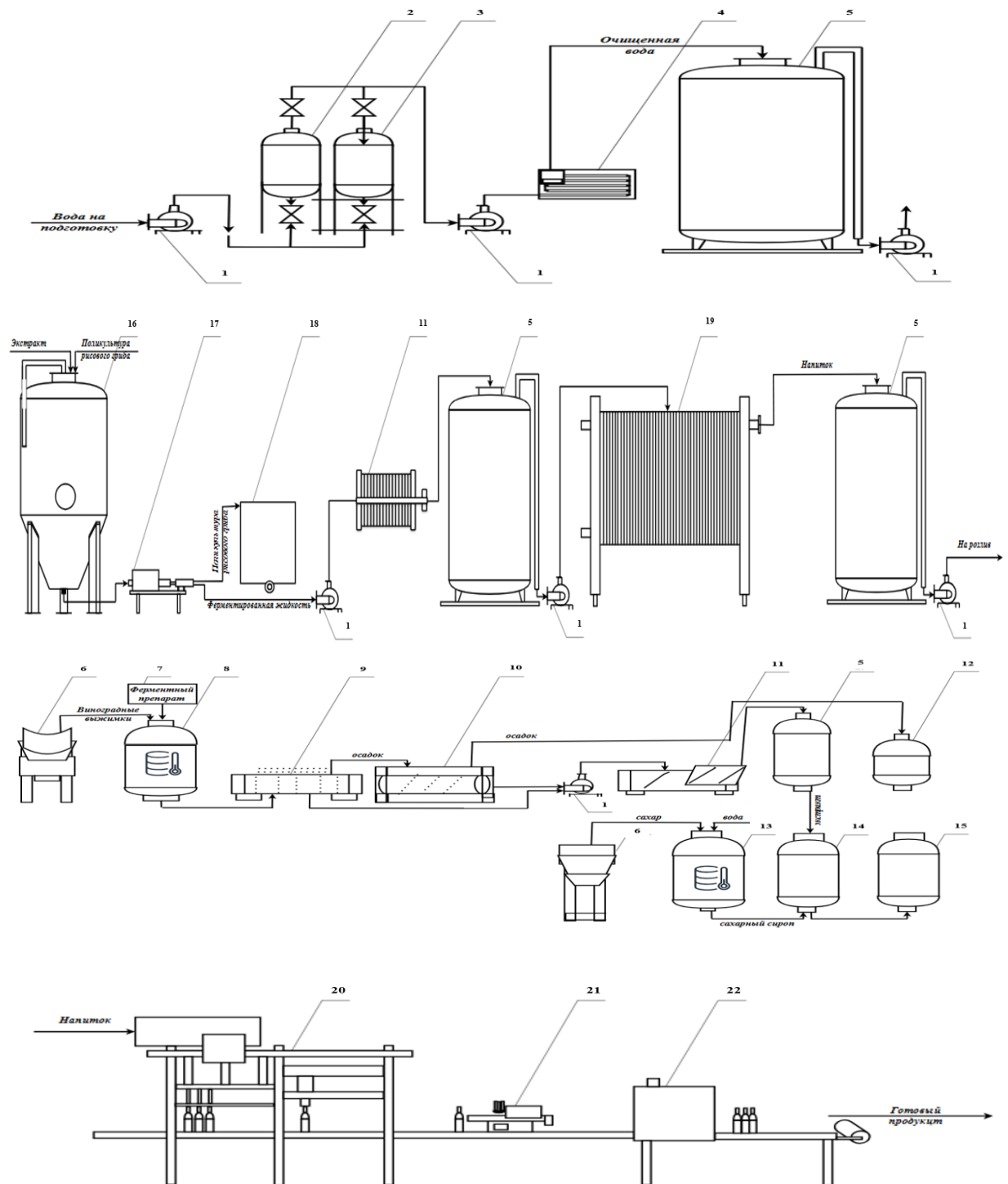


Рисунок 4.1 – Структурно-функциональная схема производства напитка



1 – центробежный насос, 2 – механический фильтр, 3 – угольный фильтр, 4 – установка обратного осмоса, 5 – накопительные емкости, 6 – дозирующее устройство, 7 – станция дозирования, 8 – экстрактор, 9 – сепаратор грубых осадков, 10 – пневматический пресс, 11 – фильтр-пресс, 12 – емкость для сбора осадка, 13 – варочный котел, 14 – емкость для купажирования, 15 – охлаждающая емкость, 16 – ферментер, 17 – сепаратор для разделения фаз, 18 – сборник для рисового гриба, 19 – пастеризационно-охлаждающий модуль, 20 – полуавтоматическая линия розлива, 21 – этикетировочный аппарат, 22 – термоусадочная упаковочная машина.

Рисунок 4.2 – Аппаратурно-технологическая схема производства напитка

Оборудование функционирует в едином технологическом цикле: подготовка воды → экстракция → ферментация → фильтрация → тепловая обработка → розлив и упаковка.

Водоподготовка. Подача воды в систему осуществляется с помощью центробежного насосного оборудования (1). На начальной стадии очистки жидкость проходит через механический фильтр (2), предназначенный для удаления крупнодисперсных примесей: песчаных частиц, иловых отложений, продуктов коррозии и других взвешенных загрязнений.

Следующей технологической операцией является фильтрация через угольный фильтр (3), заполненный гранулированным активированным углем. Для создания рабочего давления, необходимого для эффективного функционирования обратноосмотической мембраны, в системе предусмотрен дополнительный центробежный насос (1), обеспечивающий стабильные параметры работы установки.

Ключевым этапом глубокой очистки является процесс обратного осмоса (4). Вода под давлением проходит через полупроницаемую мембранную структуру, обеспечивающую задержание 98-99 % растворенных солей, соединений тяжелых металлов, микроорганизмов и других нежелательных элементов. Результатом данного процесса является получение воды высокой степени очистки.

Очищенная вода аккумулируется в накопительной емкости (5), что гарантирует бесперебойное обеспечение производственного процесса. Для транспортировки воды на последующие технологические стадии используется третья насосная единица (1), поддерживающая требуемое давление в распределительной сети.

Экстракция. Дозирующее устройство (6) обеспечивает равномерную подачу выжимок винограда в экстрактор (8). Процесс экстракции проводится с применением ультразвукового воздействия для интенсификации массообмена. После завершения процесса экстракции полученная смесь направляется в сепаратор (9) для разделения жидкой и твердой фаз. Отделенная жидкость транспортируется центробежным насосом (1) на фильтр-пресс (11) для дополнительного освет-

ления, после чего собирается в накопительной емкости (5). Осадок из сепаратора поступает в пневматический пресс (10) для окончательного отжима, а отжатые выжимки аккумулируются в накопительной емкости (12).

Приготовление сиропа и купажирование. Через дозирующее устройство (6) осуществляется подача сахара в варочный котел с мешалкой и системой подогрева (13). В котел также подается вода, после чего смесь нагревается до температуры $+90...95\text{ }^{\circ}\text{C}$ при постоянном перемешивании. Полученный сахарный сироп направляется в купажную емкость (14), куда также дозируется подготовленный экстракт. Готовый купаж подается в емкость охлаждения с теплообменником (15), а затем подается на этап ферментации.

Процесс ферментации. Смесь из купажной емкости (14) и биокультура из сборника (18) транспортируются центробежным насосом (1) в ферментер (16). Процесс ферментации осуществляется при температуре $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 36–48 часов до достижения уровня кислотности pH 3,5–3,8. После завершения ферментации масса поступает в сепаратор (17) для отделения биомассы рисового гриба от ферментационной жидкости. Отделенная биомасса возвращается в сборник (18) для последующего использования.

Очистка и пастеризация. Ферментационная жидкость после сепарации направляется на фильтр-пресс (11) для механической очистки от остаточных взвешенных частиц.

Очищенный фильтрат поступает в накопительную емкость (5), откуда подается на пастеризацию (19). Процесс осуществляется при температуре $88\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, продолжительность – выдержка в трубчатом пастеризаторе 60 секунд, последующий розлив в асептических условиях в стерильную тару (20). Далее бутылки проходят через этикетировочное оборудование (21) для нанесения маркировки. Завершающей стадией является группировка и термоупаковка бутылок в полимерную пленку на оборудовании (22).

В рамках разработки технологии по производству безалкогольных напитков на основе выжимок винограда и *Orizamyces indicis* был проведен детальный подбор технологического оборудования. Основными критериями выбора стали:

соответствие производительности объему выпуска продукции; энергоэффективность и надежность эксплуатации; совместимость отдельных элементов технологической линии; соответствие санитарно-гигиеническим требованиям. Оборудование сгруппировано по ключевым технологическим этапам: чистка воды (механическая фильтрация, умягчение, обратный осмос), экстракция биоактивных компонентов из выжимок, приготовление купажа с сахаром, ферментация с использованием рисового гриба, пастеризация и охлаждение напитка, розлив и упаковка готовой продукции.

На основании проведенных исследований и анализа существующих производственных решений разработана комплексная технология производства напитков, включающая стадии подготовки сырья, водоподготовки, экстракции, купажирования, ферментации, пастеризации и фасовки. Разработаны Технические условия ТУ 11.07.19-098-17021101-2025 и Технологическая инструкция ТИ 11.07.19.133-098-17021101-2025 (Приложения Е, Ж).

4.2 Исследование потребительских свойств разработанного функционального безалкогольного напитка

Оценка потребительских свойств разработанного функционального напитка «Юланта-БИО» проводилась в соответствии с требованиями Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» [113] и с использованием методологических подходов, установленных ГОСТ 28188-2014 «Напитки безалкогольные. Общие технические условия» [110].

Так как разработанный напиток относится к категории продуктов брожения и его требования не в полной мере регламентируются указанным ГОСТом, его положения применялись в части методов контроля и оценки показателей, а нормативные значения устанавливались в разработанных Технических условиях (ТУ 11.07.19-098-17021101-2025).

Органолептическая оценка является первичным и обязательным этапом определения качества напитка, позволяющим интегрально оценить его восприятие потребителем. Исследования проводились по ГОСТ 6687.5-86 «Продукция безалкогольной промышленности. Методы определения органолептических показателей и объема продукции» [111].

Дегустация осуществлялась комиссией из 5 обученных дегустаторов по 10 балльной шкале. Оценивались внешний вид, цвет, аромат и вкус напитка. Результаты органолептической оценки представлены в таблице 4.5.

Физико-химические показатели (таблица 4.6) определяют стабильность состава и технологические характеристики напитка. Исследования проводились с использованием стандартизованных методов анализа, предусмотренных ГОСТ 28188-2014 и ТР ТС 021/2011 [110, 113].

Таблица 4.5 – Органолептические показатели напитка «Юланта-БИО»

Наименование показателя	Характеристика согласно ГОСТ 28188-2014	Фактическая характеристика разработанного напитка
Внешний вид	Непрозрачная жидкость. Допускается наличие осадка и взвесей, обусловленных особенностями используемого сырья	Опалесцирующая жидкость, наблюдается незначительный осадок, обусловленный наличием частиц растительного сырья
Цвет	В соответствии с рецептурой	Светло-розовый, равномерный по всей массе
Аромат	В соответствии с рецептурой	Сложный ферментированный аромат с тонами растительного сырья и терпкими нотами.
Вкус	В соответствии с рецептурой	Кисловато-сладкий, сбалансированный, без посторонних привкусов

Таблица 4.6 – Физико-химические показатели напитка «Юланта -БИО»

Наименование показателя	Значение «Юланта-БИО»	Требования согласно ТУ и ГОСТ 28188-2014*
Кислотность, см ³ раствора NaOH (1,0 моль/дм ³) на 100 см ³	0,6 ± 0,1	Соответствует рецептурным нормам
Объемная доля спирта, %	0,46	≤ 0,5
Массовая доля сухих веществ, %	4,6 ± 0,2	Соответствует рецептурным нормам

Примечание:

*Требования ГОСТ 28188-2014 носят справочный характер для методов анализа. Нормативы установлены ТУ 11.07.19-098-17021101-2025

Оценка безопасности разработанного напитка проводилась в соответствии с главой 2 ТР ТС 021/2011, устанавливающей требования к безопасности пищевой продукции. Контролировались содержание токсичных элементов, микробиологические показатели и отсутствие патогенных микроорганизмов. Результаты оценки представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Микробиологическая безопасность и токсикологические показатели

Параметры контроля	Нормативы ТР ТС 021/2011	Результаты испытаний
Патогенные микроорганизмы, включая сальмонеллы	не допускаются в 25 г	не выявлено
Мезофильные аэробные микроорганизмы, КОЕ/100 см ³	≤ 100,0	48,0
БГКП, не допускаются в массе продукта (г/см ³)	100	не выявлено
Дрожжи и плесени (в сумме), КОЕ/100 см ³	≤ 15,0	7,0
Свинец, мг/кг	0,3	менее 0,1***
Мышьяк, мг/кг	0,1	менее 0,05***
Кадмий, мг/кг	0,03	менее 0,02***
Ртуть, мг/кг	0,005	менее 0,003***

*** - полученный результат меньше нижней границы диапазона определения

Лабораторные исследования подтвердили полное соответствие готового напитка установленным нормативам безопасности. Анализ показал отсутствие превышений по микробиологическим, санитарно-химическим и токсикологическим параметрам в соответствии с требованиями ТР ТС 021/2011.

Детальная характеристика пищевой ценности продукта, включая содержание основных нутриентов и энергетическую ценность, систематизирована в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Пищевая ценность 100 мл продукта «Юланта-БИО»

Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	Органические кислоты, г	Пищевые волокна, г	Энергетическая ценность, ккал/кДж
0,23	0,05	4,3	0,8	0,1	20,29 / 84,81

Представленные данные отражают сбалансированный состав напитка. Расчет энергетической ценности показал, что его можно охарактеризовать как низкокалорийный из-за потребления сахарозы в процессе ферментации. При этом основная ценность заключается не только в макронутриентах, но и в микронутриентах: высокое содержание антиоксидантов из выжимок винограда, витаминов группы В за счет биосинтеза консорциумом, наличие полезных органических кислот. Содержание этилового спирта (0,5%) минимально, что позволяет классифицировать продукт как безалкогольный.

Обеспечение суточной потребности в компонентах рациона при потреблении 250 мл напитка в соответствии с Методическими рекомендациями МР 2.3.1.0253-21 [124] приведено в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Обеспечение суточной потребности в нутриентах при потреблении 250 мл напитка «Юланта-БИО» (для мужчин 18–29 лет, I группа физической активности, КФА=1,4) согласно МР 2.3.1.0253-21

Показатель	Среднее содержание в 250 мл	Суточная потребность*	Процент покрытия
Энергетическая ценность, ккал	50,7	2400	2,1
Белки, г	0,58±0,03	72	0,8
Жиры, г	0,13±0,004	81	0,2
Углеводы (общие), г	10,75±0,8	303	3,5
Пищевые волокна, г	0,25±0,01	20	1,3
Органические кислоты, г	2,04±0,02	—**	—
Общие полифенолы, мг GAE	130,1±3,8	800**	16,3
Флавоноиды, мг катехина	49,8±1,6	—	—
Антоцианы, мг	18,74±0,45	—	—
Витамин С, мг	0,07±0,04	100	0,07
Витамины группы В:			
В ₁ (тиамин), мкг	19,7±0,31	1500	1,3
В ₂ (рибофлавин), мкг	25,3±0,6	1800	1,4
В ₃ (ниацин), мкг	54,8±1,4	20000	0,27
В ₅ (пантотеновая кислота), мкг	29,7±1,1	5000	0,6
В ₆ (пиридоксин), мкг	21,1±0,6	2000	1,0
В₇ (биотин), мкг	12,1±0,4	50	24,2
В₉ (фолаты), мкг	130,5±2,4	400	32,6

Примечание:

*Согласно МР 2.3.1.0253-21

**Ориентировочный уровень потребления (адекватный уровень потребления) согласно документу *

В качестве референтной группы выбраны мужчины 18–29 лет с I группой физической активности, так как они имеют наиболее высокие нормы потребления нутриентов, что позволяет объективно оценить вклад продукта.

Представленные данные демонстрируют вклад 250 мл напитка «Юланта-БИО» в обеспечение суточной потребности. Энергетическая ценность напитка незначительна, что позволяет использовать его в низкокалорийных диетах. Общие полифенолы покрывают часть от рекомендуемого потребления, что свидетельствует об антиоксидантном потенциале напитка.

Среди витаминов группы В наибольший вклад обеспечивают биотин (В₇) – 24,0% и фолаты (В₉) – 32,6%, что соответствует критериям функционального продукта (более 15% на порцию). Остальные витамины группы В присутствуют в меньших количествах. Содержание флавоноидов и антоцианов не нормируется, но их присутствие усиливает функциональные свойства. Полученные результаты позволяют позиционировать напиток «Юланта-БИО» как перспективный функциональный продукт с выраженными антиоксидантными свойствами и сбалансированным нутриентным профилем, соответствующий современным концепциям здорового питания.

В соответствии с требованиями п. 5.1.8 ГОСТ 28188-2014 проведена оценка содержания биологически активных веществ в разработанном напитке. Установлено, что содержание витаминов группы В (В₁, В₂, В₃, В₅, В₆, В₇, В₉) в одной порции (200 мл) не превышает 10% от величины их разовой терапевтической дозы, определенной при применении в качестве лекарственных средств. Для полифенольных соединений разовая терапевтическая доза нормативно не установлена; их содержание (включая флавоноиды и антоцианы) находится в пределах верхних допустимых уровней потребления, рекомендованных для биологически активных веществ. Таким образом, разработанный напиток соответствует требованиям безопасности по данному показателю.

С целью научного обоснования и подтверждения срока годности напитка «Юланта-БИО» проведены комплексные экспериментальные исследования. Исследования проводились в соответствии с требованиями технических условий

ТУ 11.07.19-098-17021101-2025, технического регламента Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», МУК 4.2.1847-04 «Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов». Программа испытаний включала мониторинг изменений органолептических показателей, контроль физико-химических параметров, оценку микробиологической безопасности, определение динамики содержания пробиотических микроорганизмов. Условия хранения образцов – температура $20 \pm 2^\circ\text{C}$, относительная влажность воздуха не более 75%. Отбор проб и анализы проводились с периодичностью 1 раз в месяц в течение 6 месяцев. Критерием окончания срока годности считалось достижение хотя бы одним из контролируемых показателей предельно допустимого значения, установленного технической документацией.

В ходе шестимесячного хранения органолептические показатели напитка оставались стабильными и соответствовали установленным нормативам на протяжении всего срока наблюдения. Внешний вид характеризовался как непрозрачная жидкость с допустимым осадком, вкус оставался кисловато-сладким, сбалансированным, без посторонних привкусов. Запах сохранял сложный ферментированный аромат с тонами растительного сырья и терпкими нотками, а цвет оставался светло-розовым и равномерным по всей массе. Отклонений от нормы в течение шести месяцев хранения не зафиксировано.

Динамика физико-химических показателей напитка «Юланта-БИО» в процессе хранения представлены в таблице 4.10.

Физико-химические показатели демонстрируют незначительные изменения в пределах допустимых норм: кислотность и содержание спирта постепенно увеличиваются, оставаясь в пределах норматива, содержание сухих веществ и полифенолов незначительно снижается.

В течение всего срока хранения микробиологические показатели функционального безалкогольного напитка полностью соответствовали требованиям ТР ТС 021/2011 и технических условий. Во всех образцах на каждом этапе контроля (с 1-го по 6-й месяц) промышленная стерильность подтверждена отсутствием

мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов в 1,0 г продукта. КМАФАнМ, дрожжи, плесени, бактерии группы кишечных палочек, а также патогенные микроорганизмы, включая сальмонеллы, не обнаружены ни в одном из исследованных образцов. Отклонений от установленных нормативов в процессе хранения не зафиксировано, что свидетельствует о микробиологической стабильности и безопасности продукта.

Таблица 4.10 – Физико-химические показатели напитка «Юланта-БИО» в процессе хранения (при $t = 20 \pm 2$ °C)

Показатель	Норматив (ТУ)	Срок хранения, мес.						
		1	2	3	4	5	6	7 (контр.)
Массовая концентрация титруемых кислот, г/дм ³ (в пересчете на винную)	$5,5 \pm 0,5$	$5,6 \pm 0,1$	$5,5 \pm 0,1$	$5,7 \pm 0,1$	$5,7 \pm 0,1$	$5,7 \pm 0,1$	$5,7 \pm 0,1$	$5,8 \pm 0,1$
Массовая доля сухих веществ, %	$4,6 \pm 0,2$	$4,65 \pm 0,20$	$4,62 \pm 0,20$	$4,58 \pm 0,20$	$4,55 \pm 0,20$	$4,52 \pm 0,20$	$4,50 \pm 0,20$	$4,48 \pm 0,20$
Объемная доля этилового спирта, %	$\leq 0,5$	$0,42 \pm 0,02$	$0,42 \pm 0,02$	$0,43 \pm 0,02$	$0,43 \pm 0,02$	$0,44 \pm 0,02$	$0,44 \pm 0,02$	$0,44 \pm 0,02$
Массовая концентрация полифенолов, мг/дм ³	не менее 450	520 ± 20	515 ± 20	510 ± 20	505 ± 20	500 ± 20	495 ± 20	490 ± 20
Массовая концентрация аскорбиновой кислоты (витамин С), мг/дм ³	не менее 0,15	$0,25 \pm 0,02$	$0,24 \pm 0,02$	$0,24 \pm 0,02$	$0,23 \pm 0,02$	$0,21 \pm 0,02$	$0,2 \pm 0,02$	$0,18 \pm 0,02$
Массовая концентрация фолатов (В ₉), мкг/дм ³	—	522 ± 20	516 ± 20	510 ± 20	504 ± 20	498 ± 20	492 ± 20	486 ± 20
Массовая концентрация биотина (В ₇), мкг/дм ³	—	48 ± 2	47 ± 2	47 ± 2	46 ± 2	46 ± 2	45 ± 2	45 ± 2

Таким образом, экспериментально подтверждена стабильность качества и безопасности напитка «Юланта-БИО» в течение 6 месяцев при рекомендуемых условиях хранения.

4.3 Исследование влияния материала упаковки на потребительские свойства разработанного функционального безалкогольного напитка в процессе хранения

Одним из ключевых факторов, определяющих сохранность потребительских свойств, микробиологическую стабильность и безопасность жидких пищевых продуктов, в особенности функциональных напитков с комплексным биоло-

гически активным составом, является тип упаковочного материала. В связи с этим было изучено влияние упаковки в стеклянные и пластиковые (ПЭТ) бутылки на изменение показателей ферментированного напитка «Юланта-БИО» в течение установленного срока годности при температуре 2 ± 2 °С. Для исследований была использована партия напитка «Юланта-БИО», разлитая в два типа тары одинаковой емкостью (0,5 л): стеклянные бутылки (темное стекло); ПЭТ-бутылки (полиэтилентерефталат). Условия хранения соответствовали рекомендуемым – температура 20 ± 2 °С, относительная влажность $75\pm 5\%$. Контрольные точки отбора проб: 0, 1, 2, 3, 4, 5 и 6 месяцев хранения. Наблюдались статистически значимые различия в динамике сенсорных свойств в зависимости от типа упаковки (таблица 4.11).

Таблица 4.11 – Динамика органолептической оценки напитка «Юланта-БИО» при хранении в различной таре (средний балл по 10-балльной шкале)

Показатель	Тип тары	Срок хранения, мес.						
		0	1	2	3	4	5	6
Аромат	Стекло	8,9	8,8	8,7	8,6	8,5	8,4	8,3
	ПЭТ	8,9	8,6	8,3	7,9	7,5	7,0	6,5
Вкус	Стекло	8,5	8,5	8,4	8,3	8,3	8,2	8,1
	ПЭТ	8,5	8,3	8,1	7,8	7,5	7,1	6,8
Цвет	Стекло	8,2	8,2	8,1	8,1	8,0	8,0	8,0
	ПЭТ	8,2	8,1	7,9	7,7	7,5	7,3	7,0

Было установлено, что материал упаковки оказывает существенное влияние на сохранность потребительских свойств и биологической ценности функционального напитка «Юланта-БИО». Стеклянная тара (темное стекло) является значительно более эффективной средой для длительного хранения. Напиток, упакованный в стекло, в течение 6 месяцев демонстрирует высокую стабильность органолептического профиля, максимальную сохранность биологически активных соединений и более высокую жизнеспособность пробиотического консорциума. Использование ПЭТ-бутылки приводит к статистически значимому ухудшению аромата и вкуса, существенным потерям антиоксидантов и

более интенсивному подкислению продукта в процессе хранения, что связано с ограниченными барьерными свойствами полимера.

4.4 Производственная апробация разработанной технологии

Разработанные технологические решения и рецептурные композиции напитка «Юланта-БИО» прошли успешную апробацию в производственных условиях на базе Славянского РСПК (г. Славянск, Краснодарский край).

В ходе производственной апробации подтверждена эффективность применения полисимбиотической культуры *Orizamyces indicī* для микробной биотрансформации экстракта красных выжимок винограда с получением функционального напитка. Объем производственной партии составил 1000 литров готовой продукции.

Научно-технический эффект от внедрения разработанной технологии проявился в улучшении расширении ассортимента функциональных напитков.

Разработанная программа для ЭВМ для автоматизированного расчета скорости сбраживания субстрата также прошла апробацию на базе Славянского РСПК (Приложение И).

4.5 Оценка экономической эффективности от внедрения разработанных рецептуры и технологии производства функционального безалкогольного напитка

На основе приведенных данных и условий произведен расчет себестоимости производства безалкогольных напитков. Стоимость сырья и материалов (тары) принята за базу для расчета остальных статей затрат в соответствии с указанными процентами. Годовой объем производства составляет 607600 литров, квартальный – 151900 литров. Расчеты выполнены в рублях на 100 литров и в тысячах рублей на годовой и квартальный выпуск.

Исходные данные:

- стоимость сырья на 100 литров: 2177,0 руб;
- стоимость материалов (тары) на 100 литров: 5757,6 руб;
- процентные соотношения затрат от стоимости сырья и материалов: вспомогательные материалы -10%; топливо и энергия на технологические цели – 40 %; транспортно-заготовительные расходы – 5 %; общепроизводственные расходы – 20 %; общехозяйственные расходы – 40 %;
- расходы на оплату труда производственных рабочих: 6720,0 тыс. руб. в год, отчисления на социальные нужды – 39 % от расходов на оплату труда.

Производственная себестоимость рассчитана как сумма всех статей затрат.

Выручка от реализации определена, исходя из годового выпуска 2025333 бутылки. Цена реализации одной бутылки объемом 0,3 л составляет 73,35 руб.

Результаты расчетов представлены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Себестоимость продукции по статьям затрат, тыс. руб.

Наименование статьи затрат	на 100 литров, руб.	на годовой вы- пуск, тыс. руб.	на квартал, тыс. руб.
Сырье	2177,0	13823,8	3455,9
Материалы (тара)	5757,6	34983,2	8745,8
Вспомогательные материалы	803,5	4880,7	1220,2
Топливо и энергия на технологические цели	3213,0	19522,8	4880,7
Транспортно-заготовительные расходы	401,5	2440,3	610,1
Общепроизводственные расходы	1606,5	9761,4	2440,3
Общехозяйственные расходы	3213,0	19522,8	4880,7
Расходы на оплату труда производственных рабочих	1105,7	6720,0	1680,0
Отчисления на социальные нужды	431,3	2620,8	655,2
Итого производственная себестоимость	18800,0	114275,8	28568,9
Выручка от реализации	24450,0	148558,2	37139,5

Для оценки экономической эффективности инвестиционного проекта были рассчитаны следующие показатели: чистый дисконтированный доход (NPV), индекс рентабельности (PI), внутренняя норма доходности (IRR) и дисконтированный срок окупаемости (DPP).

Расчет чистого дисконтированного дохода (NPV) осуществлялся путем суммирования всех дисконтированных денежных потоков проекта, как положи-

тельных (от операционной деятельности), так и отрицательных (инвестиционных).

Алгоритм определения NPV включал следующие этапы:

1. Определение общего объема инвестиционных вложений в проект.
2. Расчет текущей (дисконтированной) стоимости будущих денежных поступлений от операционной деятельности.
3. Вычитание из полученной текущей стоимости доходов суммы дисконтированных инвестиционных затрат.

При оценке эффективности проекта учитывались источники и стоимость финансирования. Общий объем привлекаемых средств для реализации проекта, включая закупку оборудования, формирование оборотного капитала на приобретение сырья и материалов, аренду помещений и другие сопутствующие расходы, принят в размере 11 миллионов рублей.

Для организации производства предусмотрено привлечение кредитных средств под 30 % в размере 5 000 000 руб. и собственных средств инвестора в размере 6 000 000 руб.

Расчет средневзвешенной стоимости капитала приведен в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Средневзвешенная стоимость капитала

Источник средств	Сумма, руб.	Стоимость, % годовых	Доля от общей суммы инвестиций, %	Взвешенная стоимость, % годовых
Банк	5 000 000,00	30,00	45,45	13,64
Инвестор	6 000 000,00	0,00	54,55	0,00
Итого	11 000 000,00	-	100,00	13,64

На рисунке 4.3 представлен график денежного потока нарастающим итогом. Основными факторами, влияющими на финансовый результат деятельности предприятия, выступают объем продаж и затраты на производство. Спрогнозированный объем продаж рассматривается с точки зрения объема реализации и производственных возможностей предприятия.



Рисунок 4.3 – Денежный поток проекта

Планирование проекта осуществляется с квартальным интервалом. Общий срок реализации проекта составляет четыре года, что эквивалентно шестнадцати кварталам. Такой временной горизонт позволяет адекватно отразить динамику роста производственных объемов и освоения мощностей предприятия. При расчете финансовых результатов применяется ставка налога на прибыль в размере 25%. Ключевые показатели экономической эффективности и окупаемости проекта представлены в таблице 4.14.

Так как величина NPV оказалась положительной, можно сделать вывод о том, что рассматриваемый проект эффективен. Дисконтированный период окупаемости проекта составит 3,3 года. Таким образом, была оценена экономическая эффективность организации нового производства напитка.

Таблица 4.14 – Показатели окупаемости проекта

Показатель	Значение
Суммарные инвестиции, руб.	11 000 000,00
Минимальные суммарные инвестиции (по потоку платежей), руб.	51 655 090,00
Максимальные суммарные инвестиции (по потоку платежей), руб.	80 223 990,00
Чистый доход, руб.	40 622 610,00
Чистый дисконтированный доход (NPV), руб.	22 727 712,59
Внутренняя норма доходности (IRR), годовых, %	33,62
Внутренняя норма доходности (IRR), на шаг, %	8,41
Модифицированная внутренняя норма доходности (MIRR), годовых, %	12,72
Рентабельность инвестиций (ROI), %	369,30
Индекс рентабельности (PI), %	206,62
Срок окупаемости, лет	3,07
Срок окупаемости, шагов	12,26
Дисконтированный срок окупаемости, лет	3,29
Дисконтированный срок окупаемости, шагов	13,17

Рекомендации и предложения производству

Результаты исследований могут быть рекомендованы для использования на предприятиях, производящих безалкогольные напитки. Для успешного внедрения технологии на постоянной основе рекомендуется:

- создавать на винодельческих предприятиях системы сбора, консервации и сортировки выжимок винограда по сортам для производства стандартизированных экстрактов;
- использовать физические методы интенсификации экстракции (ультразвуковая обработка) на регулируемых установках для повышения выхода БАВ;
- создать банк чистой полисимбиотической культуры *Orizamyces indic*i и проводить ферментацию в специализированных ферментерах с контролем температуры и pH;
- внедрить разработанные цифровые инструменты для оптимизации параметров, а также дополнить линии оборудованием для ультразвуковой обработки и мембранной фильтрации;
- создавать линейки функциональных напитков с различными вкусами за счет натуральных наполнителей и позиционировать их как экологичные продукты рециклинга.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного диссертационного исследования, направленного на достижение поставленной цели, сформулированы следующие выводы, соответствующие решенным задачам.

1. Проведенный анализ научно-технической литературы показал, что выжимки винограда являются перспективным вторичным сырьем для создания функциональных безалкогольных напитков, а полисимбиотическая культура *Orizamyces indic*i обладает уникальным биотрансформационным потенциалом, однако отсутствуют комплексные исследования, связывающие параметры экстракции с последующей ферментацией, недостаточно изучена кинетика роста *Orizamyces indic*i на экстрактах выжимок винограда, и не разработаны прогнозные математические модели, что обосновывает необходимость проведения собственных экспериментальных исследований по оптимизации технологических режимов получения функционального безалкогольного напитка.

2. На основании комплексного сравнительного анализа химического состава и органолептических свойств экстрактов из выжимок винограда четырех технических сортов Анапа-Таманской зоны, сохраняемых с применением сушки или замораживания, установлено, что наиболее перспективными видами вторичного сырья для производства функциональных напитков являются высушенные сброженные выжимки винограда красного сорта Саперави, характеризующиеся максимальным содержанием полифенольных соединений (623–660 мг/дм³) и высокой антиоксидантной активностью, а также высушенные сладкие выжимки винограда белого сорта Цитронный Магарача, обладающие уникальными органолептическими характеристиками (мускатный аромат, гармоничный вкус). В качестве основного объекта для разработки технологии функционального безалкогольного напитка выбраны выжимки сорта Саперави, что обосновано не только максимальным выходом полифенолов, но и стабильностью сырьевой базы вследствие широкой распространенности данного сорта в регионе.

3. Экспериментально определены и научно обоснованы оптимальные параметры процесса экстрагирования, обеспечивающие максимальный выход биологически активных веществ при сохранении высоких органолептических свойств: степень измельчения выжимок 1,5 мм, температура 65 °С, продолжительность 5,5 ч, скорость перемешивания 200 с⁻¹. Доказано, что применение методов предварительной обработки (ультразвук для красных сортов) позволяет дополнительно повысить эффективность экстракции. Ультразвуковая обработка увеличивает выход полифенолов на 19,4–33,5%.

4. Экспериментально установлены и математически обоснованы оптимальные режимы микробной биотрансформации экстрактов высушенных сброженных выжимок винограда сорта Саперави полисимбиотической культурой *Orizamyces indicis*: температура 28–30 °С, продолжительность 48 ч, массовая концентрация сахарозы 7,0%, дозировка инокулята 5,5% от объема среды. Реализация данных режимов обеспечивает максимальный прирост биомассы (82–85%) и формирование сбалансированного органолептического профиля (4,5–4,7 балла по 5-балльной шкале). Доказано, что в процессе ферментации происходит биотрансформация полифенольного комплекса, сопровождающаяся увеличением антиоксидантной активности на 31,8% (к 24 ч культивирования) и биосинтезом витаминов группы В (В₇ и В₉) с суммарным приростом 45,6% за 48 ч, что подтверждает целесообразность применения данного биотехнологического приема для создания функциональных напитков.

5. Разработаны адекватные регрессионные модели второго порядка ($R^2 > 0,96 \dots 0,99$), с высокой точностью описывающие зависимость содержания целевых компонентов от исследуемых технологических режимов. На их основе созданы программы для ЭВМ, позволяющие прогнозировать органолептические показатели экстракта и скорость сбраживания субстрата, что обеспечивает научно-обоснованное управление технологическим процессом и сокращение затрат на натурные эксперименты. Функциональное моделирование в нотации IDEF0 позволило формализовать технологический процесс и создать основу для его цифровизации.

6. Разработаны технология и рецептура функционального безалкогольного напитка «Юланта-БИО». Оценка потребительских свойств подтвердила соответствие требованиям безопасности и повышенную биологическую ценность. Потребление 250 мл напитка обеспечивает 16,3 % адекватного уровня потребления полифенолов, 24,2 % суточной нормы биотина (В₇) и 32,6 % – фолатов (В₉). Экспериментально обоснован срок годности 6 месяцев, доказано преимущество стеклянной тары для сохранения качества.

7. Технология и рецептура прошли опытно-производственную апробацию на базе Славянского РСПК (Краснодарский край). Экономическая эффективность проекта обоснована положительным чистым дисконтированным доходом (22,7 млн руб.) и сроком окупаемости 3,3 года. Создан полный комплект технической документации (ТУ 11.07.19–098–17021101–2025, ТИ 11.07.19.133–098–17021101–2025).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. OIV. State of the World Wine Sector in 2025 [Электронный ресурс] ./ International Organisation of Vine and Wine. – Dijon : OIV, 2026. – May. – 26 p. – URL: https://www.oiv.int/sites/default/files/2026-05/OIV-State_of_the_World_Wine_Sector_in_2025_0.pdf (дата обращения: 08.08.2026).
2. Винодельческие регионы России увеличили производство вина в 2025 году [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.rbc.ru/wine/news/6984ac799a794777a753d4b1> (дата обращения: 08.08.2026).
3. Ибрагимов, А.Г. Эколого-экономическая эффективность утилизации отходов виноделия [Электронный ресурс] // Природообустройство. – 2014. – №2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologo-ekonomicheskaya-effektivnost-utilizatsii-othodov-vinodeliya> (дата обращения: 07.11.2025).
4. Резолюция Общественной палаты Российской Федерации по итогам общественных слушаний на тему «Глубокая переработка виноградного сырья и его отходов» [Электронный ресурс] / Общественная палата Российской Федерации. – Москва, 2024. – 7 с. – URL: <https://files.oprf.ru/storage/documents/rezol-apk-vinograd-othodi27092024.pdf> (дата обращения: 08.08.2026).
5. Шелудько, О.Н., Прах, А.В., Чемисова, Л.Э., Косарев, Е.С., Прах, А.А. Технология производства винодельческой продукции с использованием вторичных продуктов передовые исследования Кубани. // Сборник материалов Ежегодной отчетной конференции грантодержателей Кубанского научного фонда «Передовые исследования Кубани». – 2020. – С. 119-123. EDN: GDSEMR.
6. Тихонова, А.Н., Агеева, Н.М., Руденко, О.В., Саакашвили, Е.В. Современное состояние производства пищевых волокон из выжимок винограда // Сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции «Современные научные исследования: актуальные теории и концепции». – 2016. – С. 59-61. EDN: WXXQOL.
7. Чекмарева, М.Г., Егян, М.А. Технология комплексной переработки виноградной выжимки с получением энокрасителя и комплекса пищевых органи-

ческих кислот // Материалы национальной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и техники». – 2020. – С. 1672-1673. EDN: STOYLG.

8. Tikhonova, A., Ageeva, N., Globa, E. Grape pomace as a promising source of biologically valuable components // International Scientific Conference “Biologization of the Intensification Processes in Horticulture and Viticulture” (BIOLOGIZATION). – 2021. – № 34, 6. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213406002>.

9. Sateriale, D, Forgione, G, Di Rosario, M, Pagliuca, C, Colicchio, R, Salvatore, P, Paolucci, M, Pagliarulo, C. Vine-Winery Byproducts as Precious Resource of Natural Antimicrobials: In Vitro Antibacterial and Antibiofilm Activity of Grape Pomace Extracts against Foodborne Pathogens. *Microorganisms*. – 2024. – № 12(3). – 437. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12030437>.

10. Kato-Schwartz, C.G., Corrêa, R.C.G., Babeto de Sá-Nakanishi, A., Seixas, F.A.V., Haminiuk, Ch.W.I., Barros, L., Ferreira, C.F.R., Bracht, A., Peralta, R.M. Potential anti-diabetic properties of Merlot grape pomace extract: An in vitro, in silico and in vivo study of α -amylase and α -glucosidase inhibition // *Food Research International*. – 2020. – № 137, 109462. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109462>.

11. Campos, F., Peixoto, A.F., Fernandes, P.A.R., Coimbra, M.A., Mateus, N., Freitas, V., Fernandes, I., Fernandes, A. The Antidiabetic Effect of Grape Pomace Polysaccharide-Polyphenol Complexes // *Nutrients*. – 2021. – № 13, 4495. <https://doi.org/10.3390/nu13124495>.

12. Balea, S.S., Pârvu, A.E., Pârvu, M., Vlase, L., Dehelean, C.A., Pop, T.I. Antioxidant, anti-inflammatory and antiproliferative effects of the *Vitis vinifera* L. var. Fetească Neagră and Pinot Noir pomace extracts // *Front. Pharmacol.* – 2020. – № 11, 990. <https://doi.org/10.3389/fphar.2020.00990>.

13. Spissu, Y.; Gil, K.A.; Dore, A.; Sanna, G.; Palmieri, G.; Sanna, A.; Cossu, M.; Belhadj, F.; Gharbi, B.; Pinna, M.B.; et al. Anti- and Pro-Oxidant Activity of Polyphenols Extracts of Syrah and Chardonnay Grapevine Pomaces on Melanoma Cancer Cells // *Antioxidants*. – 2023. – № 12, 80. <https://doi.org/10.3390/antiox12010080>.

14. Александрова, Г.А., Голубев, Н.А., Краснова, А.С., Лукманов, А.С., Морозова, Т.Н., Огрызко, Е.В., Оськов, Ю.И., Романенко, О.И., Харьков, Т.Л., Чумарина, В.Ж., Шеремета, Т.Р. Здравоохранение в России. – 2025. – Стат. сб. / Росстат. – 149 с. [Электронный ресурс] – URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Zdravooxran_2025.pdf (дата обращения: 03.03.2026).

15. Шарипов, Ю.И. Функциональные продукты питания и их роль в жизни человека // Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Миллионщиков-2023». – 2023. – С. 373-375. EDN: NYQXOD.

16. Зимняков, В.М., Фролов, Д.И. Производство функциональных продуктов питания // Инновационная техника и технология. – 2024. – № 11(2). – С. 5-10.

17. Мусифулина, В.М., Омаров, М.М. Сравнительная характеристика методов экстрагирования растительного сырья // Вестник Инновационного Евразийского университета. – 2021. – № 4(84). – С. 107-112. <https://doi.org/10.37788/2021-4/107-112>.

18. Thamizharasan, S., Govindhan, P., Gurunathan, K., Sathishkannan, G., Chandraseelan, E.R. Environmentally friendly swift and perfect extraction procedures for analysing the phytochemistry and proximate nutritional biochemistry of biomaterial processed from *Avicennia marina* leaves // Natural Product Research. – 2024. – P. 1-10. <https://doi.org/10.1080/14786419.2024.2349805>.

19. Wani, K.M., Uppaluri, R.V.S. Comparative efficacy of ultrasound-assisted and hot water extraction of papaya leaves // Journal of Herbal Medicine. – 2023. – № 42, 100809. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2023.100809>.

20. Kumar, M., Dahuja, A., Tiwari, S., Punia, S., Tak, Y., Amarowicz, R., Kaur, C. Recent trends in extraction of plant bioactives using green technologies: A review // Food Chemistry. – 2021. – № 353, 129431. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129431>.

21. He, Ch., Du, H., Tan, Ch., Chen, Zh., Chen, Z., Yin, F., Xu, Y., Liu, X. Semi-continuous pressurized hot water extraction of black tea // *Journal of Food Engineering*. – 2018. – № 227. – P. 30-41. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.02.001>.
22. Renovato-Núñez, J., Cobos-Puc, L.E., Ascacio-Valdés J.A., Rodríguez-Herrera, R., Iliná, A., Barrón-González, M.P., Sierra-Rivera, C.A., Silva-Belmares, S.Y. Polyphenolic characterisation and antiprotozoal effect of extracts obtained by maceration, ultrasound, microwave and ultrasound/microwave of *Porophyllum ruderale*. (Jacq.) // *Natural Product Research*. – 2024. – P. 1-5. <https://doi.org/10.1080/14786419.2023.2265532>.
23. Chua, L.S., Wahab, N.S.A., Soo, J. Water soluble phenolics, flavonoids and anthocyanins extracted from jaboticaba berries using maceration with ultrasonic pre-treatment // *Food Chemistry Advances*. – 2023. – № 3, 100387. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100387>.
24. Yuan, J.F., Tang, L.Y., Qin, H.M., Yang, X.W., Zhang, J., Wang, L.J. Microwave irradiation: Effect of β -glucosidase activity by modulating its structural properties in grape maceration stage // *LWT*. – 2024. – № 191, 115650. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115650>.
25. Ekezie, F.G.C., Sun, D.W., Cheng, J.H. Acceleration of microwave-assisted extraction processes of food components by integrating technologies and applying emerging solvents: A review of latest developments // *Trends in Food Science & Technology*. – 2017. – № 67. – P. 160-172. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.006>.
26. Sagar, N.A., Pareek, S., Sharma, S., Yahia, E.M., Lobo, M.G. Fruit and vegetable waste: Bioactive compounds, their extraction, and possible utilization // *Comprehensive reviews in food science and food safety*. – 2018. – № 17(3). P. 512-531. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12330>.
27. Soquetta, M.B., Terra, L.D.M., Bastos, C.P. Green technologies for the extraction of bioactive compounds in fruits and vegetables // *CyTA-Journal of Food*. – 2018. – № 16(1). – P. 400-412. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1411978>.
28. Shamy, S.E., Farag, M. A. Novel trends in extraction and optimization methods of bioactives recovery from pomegranate fruit biowastes: Valorization pur-

poses for industrial applications // Food Chemistry. – 2021. – № 365, 130465. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130465>.

29. Огай, М.А., Ковтун, Е.В., Чахирова, А.А., Саморядова, А.Б., Богатырева, З.Н. Разработка и исследование фитоэкстрактов, содержащих флавоноиды. Научные результаты // Медицина и фармация. – 2018. – № 4(2). – С. 90-103. <https://doi.org/10.18413/2313-8955-2018-4-2-0-10>.

30. Jung, S., Yi, Y., Chang, M., Lee, I., Kim, M., Kim, H., Yoo, I., Shin, Y. An improved extraction method for acrylamide determination in fruit and vegetable chips through enzyme addition // Food Chemistry. – 2021. – № 360, 129740. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129740>.

31. Aili, Q., Cui, D., Li, Y., Zhige, W., Yongping, W., Minfen, Y., Dongbin, L., Xiao, R., Qiang, W. Composing functional food from agro-forest wastes: Selectively extracting bioactive compounds using supercritical fluid extraction // Food Chemistry. – 2024. – № 455, 139848, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139848>.

32. Sharma, M., Kaushik, P. Vegetable phytochemicals: An update on extraction and analysis techniques // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. – 2021. – № 36, 102149, <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102149>.

33. Ye, X., Xue, S.J., & Shi, J. Physical and Mechanical Pretreatment of the Raw Material for the Extraction of Health-Promoting Components // Advances in Food Processing Technology. – 2019. – № 209-230. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6451-8_9.

34. Smitha, MS, Singh S, Singh R. Microbial bio transformation: a process for chemical alterations // J Bacteriol Mycol Open Access. – 2017. – № 4(2). – P. 47-51. <https://doi.org/10.15406/jbmoa.2017.04.00085>.

35. Серба, Е.М., Юраскина, Т.В., Римарева, Л.В., Таджибова, П.Ю., Соколова, Е.Н., Волкова, Г.С. Микробная биомасса – биоресурс для получения функциональных пищевых ингредиентов (обзор) // Техника и технология пищевых производств. – 2023. – № 53(3). – С. 426-444. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2446>.

36. Sawant, S. S., Park, H.-Y., Sim, E.-Y., Kim, H.-S., & Choi, H.-S. (2025). Microbial Fermentation in Food: Impact on Functional Properties and Nutritional Enhancement – A Review of Recent Developments // *Fermentation*. – 2025. – № 11(1), 15. <https://doi.org/10.3390/fermentation11010015>.

37. Terpou, A., Rai, A. Microbial transformation an approach for improving food functionality // *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering : Technologies for Production of Nutraceuticals and Functional Food Products*. – 2022. – № 2. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823506-5.00017-5>.

38. Arsov, A, Tsigoriyna, L, Batovska, D, Armenova, N, Mu, W, Zhang, W, Petrov, K, Petrova, P. Bacterial Degradation of Antinutrients in Foods: The Genomic Insight // *Foods*. – 2024. – № 13(15) : 2408. <https://doi.org/10.3390/foods13152408>.

39. Саубенова М.Г., Олейникова Е.А., Амангелды А.А. Биологическая ценность ферментированных продуктов // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2019. – № 8. С. 124-129. DOI: <https://doi.org/10.17513/mjpf.12838>

40. Авсиян, А.Л., Гудвилович И.Н. Диатомовые микроводоросли как продуценты фукоксантина и полиненасыщенных жирных кислот. // *Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки*. – 2025. – № 167 (3). – С. 399-440. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2025.3.399-440/>.

41. Ильин, Д.Ю., Ильина, Г.В., Сашенкова С.А. Грибы рода *Mortierella* – продуценты полиненасыщенных жирных кислот в чистой культуре // *Нива Поволжья*. – 2016. – № 1(38). С. 21-28.

42. Сульимова Т.Д., Захаров Е.В. Бактериоцины молочнокислых бактерий // *Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления*. – 2016. – № 2(59). – С. 41-47.

43. Jaiswal, P., Sharma, R., Sanodiya, B. S., Prakash, S., Bisen, P. (2014). Microbial Exopolysaccharides: Natural Modulators of Dairy Products // *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. – 2014. – № 4. – P. 105-109. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2014.40119>.

44. Piotrowska M. Microbiological Decontamination of Mycotoxins: Opportunities and Limitations // *Toxins* (Basel). – 2021. – № 13(11):819. – <https://doi.org/10.3390/toxins13110819>.

45. Куприец, А.А., Шингарева, Т.И. Исследование жизнедеятельности культуры рисового гриба в разных средах культивирования для ее применения в молочной промышленности // *Техника и технология пищевых производств*. – 2017. – № 47(4). – С. 70-76. EDN: YSUQZQ.

46. Степанова, А.А., Асякина, Л. К., Козлова, О.В. Традиционные ферментированные напитки // В сборнике тезисов VIII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Пищевые инновации и биотехнологии». – 2020. – С. 268-269. EDN: LYLVCSS.

47. Королева, Л.М., Цед, Е.А., Коваленко, Н.К., Нагорная, С.С. Идентификация микробного состава поликультуры рисового гриба как основы получения ферментированных безалкогольных напитков // *Пиво и напитки*. – 2007. – № 2. – С. 40-42. EDN: NDCEQL.

48. Цед, Е.А., Василенко, З.В., Королева, Л.М. Исследование влияния фруктовых добавок на метаболизм рисового гриба *Orizomyces indicipr* при получении безалкогольных напитков брожения // *Вестник Могилевского государственного университета продовольствия*. – 2007. № 1. – С. 20-26. EDN: ZVHOJN.

49. Закирова, З.Р., Мельницкая, Г.А., Стручкова-Мельницкая, Е.И. Исследование влияния активной воды на культивирование рисового гриба. В сборнике: Рациональное использование сырья и создание новых продуктов биотехнологического назначения // *Материалы Международной научно-практической конференции по актуальным проблемам в области биотехнологии*. – 2018. – С. 40-45. EDN: OXRVKO.

50. Латыпов, Р.Р. Разработка напитка брожения на основе поликультуры рисового гриба с учетом потребительских предпочтений // В сборнике: *Наука сегодня: теория и практика. Сборник научных статей VIII Международной научно-практической конференции*. – 2020. – С. 432-436. EDN: ZSELJH.

51. Шингарева, Т.И., Куприец, А.А. Исследование свойств зооглеи рисового гриба и закваски на его основе // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья. – 2016. – № 10. – С. 67-72. EDN: YGEXCF.

52. Saparbekova, A.A., Konarbaeva, A.A., Kantureyeva, G.O. Development of technology of the fermented beverage on the base of apple juice using *Orizamyces indic* // International Conference of Industrial Technologies and Engineering. – 2017. – № 4. – P. 82-87. EDN: UQAZTG.

53. Неклюдов, А.А. Изучение антиоксидантной активности напитков из облепихи крушиновидной // В сборнике тезисов докладов III Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Инновационные технологии пищевых производств». – 2021. – С. 46-49. EDN: YTISFO.

54. Шевцова, Т.В., Каменская, Е.П. Анализ качества ферментированных напитков с внесением соков из плодово-ягодного сырья // В сборнике «Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности». Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 90-летию академика Саковича Г.В. – 2021. – С. 385-388. EDN: DLZZIR.

55. Алиева, Е.Н. Рецептуры и технологии производства пивных напитков с использованием натурального плодово-ягодного сырья // В сборнике: Юность и знания – Гарантия успеха – 2021. Сборник научных трудов 8-й Международной молодежной научной конференции. – 2021. – С. 121-123. EDN: IMUUFS.

56. Никифорова, О.А., Школьников, М.Н. К вопросу классификации слабоалкогольных напитков брожения. – 2020.

57. Аль-Ясари, А.Х., Баракова, Н.В., Басковцева, А.С., Гунькова, П.И., Оганнесян, Ф.А. Влияние экстракта зеленого чая на процесс молочнокислого брожения и органолептические показатели ферментированного напитка на основе яблочного сока // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: «Процессы и аппара-

ты пищевых производств». – 2023. – № 4. – 29-40. EDN: QQTCLM.
<https://doi.org/10.17586/2310-1164-2023-16-4-29-40>.

58. Цед, Е.А., Василенко, З.В., Королева, Л.М., Волкова, С.В., Глусцова, Ю.А. Рисовый гриб как источник новых молочнокислых бактерий для квасного производства. // Пиво и напитки. – 2011. – № 4. – С. 22-25. EDN: OGUGRV.

59. Василенко, З.В., Цед, Е.А., Волкова, С.В. Сравнительный анализ эффективности использования различных видов дрожжей в спиртовом производстве // Весці нацыянальнай акадэміі навук беларусі серыя аграрных навук. 2016. – № 3. – С. 113-118. EDN: WHHGHP.

60. Шевцова, Т.В., Каменская, Е.П. Изучение стабильности ферментированного напитка на основе *Orizamyces indicis* и сока черноплодной рябины // В сборнике «Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности». Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 90-летию юбилею академика Саковича Г.В. – 2021. – С. 398-402. EDN: IUJSPE.

61. Цед, Е.А., Королева, Л.М. Новый ферментированный безалкогольный напиток на основе рисового гриба *Oryzamyces indicis* РГЦ // Технология. – 2007. – № 2. – С. 48-50. EDN: NDCERF.

62. Василенко, З.В., Цед, Е.А., Королева, Л. М. Технологические свойства рисового гриба-источника брожения при получении ферментированных безалкогольных напитков // Вестник Могилевского государственного университета продовольствия. – 2008. – № 1(4). – 55-61. EDN: XTIUDR.

63. Федорова, Р.А., Пименов, П.В. Периоды развития грибов-зооглеев в начальный период культивирования // В сборнике «Приоритеты развития АПК в условиях цифровизации и структурных изменений национальной экономики». Материалы международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, посвященной 190-летию со дня рождения И.А. Стебута. – 2023. – С. 54-58. EDN: XPZANR.

64. Лекарственные грибы: индийский морской рис, тибетский, молочный гриб, грибы рейши, мейтаке и шиитаке, чага. – 2008. – [Электронный ресурс]. – URL:

<https://kombucha7.nethouse.ru/static/000/000/466/978/doc/21/31/c160e320720793dff37722857323876adf58.pdf> (дата обращения: 04.07.2024).

65. Шевцова, Т.В., Каменская, Е.П. Изучение влияния растительных компонентов на процесс культивирования *Orizamyces indicis* // В сборнике «Современные проблемы техники и технологии пищевых производств». материалы XXI Международной научно-практической конференции. – 2020. – С. 185-188. EDN: OXYMFP.

66. Tishin, V.B., Fedorova, R.A. On the Kinetics of Development of Zooglean Fungi *Medusomyces gisevi* and *Orizamyces indicis* RGC and its Mathematical Modeling // EC Nutrition. – 2024. – № 19. – P. 1-9.

67. Зинцова, Ю.С., Рожнов, Е.Д., Школьников, М.Н. Применение яблочного сока в качестве субстрата для производства напитков функционального назначения на основе поликультуры *Orizamyces indicis* // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2015. – № 3(32). С. 37-42. EDN: TWPEYZ.

68. Бочарова-Лескина, А.Л., Иванова, Е.Е. Математическое моделирование в технологии и оценке качества пищевых продуктов // Научный журнал КубГАУ. – 2017. – №125. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-modelirovanie-v-tehnologii-i-otsenke-kachestva-pischevyh-produktov> (дата обращения: 08.10.2025).

69. Липатов, Н.Н. Принципы и методы проектирования рецептур пищевых продуктов, балансирующих рационы питания // Известия вузов. Пищевая технология. – 1990. – № 6. – С. 5–10.

70. Лисин, П.А. Практическое руководство по проектированию продуктов питания с применением Excel, MathCAD, Maple: учебное пособие для вузов – 3-е изд., испр. и доп. – СПб: Лань, 2022. – 260 с.

71. Лисин, П.А., Молибога, Е.А., Воронова, Т.Д. [и др.]. Композиционное проектирование поликомпонентных продуктов питания // Аграрный вестник Урала. – 2013. – № 12(118). – С. 42–46.

72. Донских, Н.В. Разработка автоматизированной информационной системы для расчета и оптимизации рецептур // Известия вузов. Пищевая технология. – 2011. – № 2-3 (320-321). – С. 122–123.

73. Зеленина, Л.С., Зюзина, О.В. Разработка поликомпонентных пищевых систем методами компьютерного моделирования // Вестник ТГТУ. – 2011. – Том 17. № 4. – С. 992-1000.

74. Муратова, Е.И., Толстых, С.Г., Дворецкий, С.И. [и др.]. Автоматизированное проектирование сложных многокомпонентных продуктов питания: учебное пособие. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 80 с.

75. Lisitsyn, A., Chernukha, I., Nikitina, M. Russian methodology for designing multicomponent foods in retrospect // Foods and Raw materials. – 2020. – Vol. 8, No. 1. – P. 2-11.

76. Yu, P., Low, M., Zhou, W. Design of experiments and regression modelling in food flavour and sensory analysis: A review // Trends in Food Science & Technology. – 2017. – Vol. 71. – <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.013> .

77. Martens, M., Tenenhaus, M., Vinzi, V.T. [et al.] The use of partial least squares methods in new food product development // Consumer-Led Food Product Development. – 2007. – P. 492-523. – <https://doi.org/10.1533/9781845693381.3.492>.

78. Мезенова, О.Я. Проектирование поликомпонентных пищевых продуктов : учебное пособие. – Санкт-Петербург: Проспект Науки, 2024. – 224 с. – ISBN 978-5-906160-19-4. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/35875.html> (дата обращения: 08.04.2026).

79. Madrera, R., Bedriñana, R. Application of central composite design in the fermentation of apple pomace to optimize its nutritional and functional properties // Acta Alimentaria. – 2018. – Vol. 47. – P. 324-332. <https://doi.org/10.1556/066.2018.47.3.8>.

80. Almeida E.R.V., Melo A.S., Lima A.S. A review of the use of central composite design in the optimization of procedures aiming at food chemical analysis // Food Chemistry. – 2025. – Vol. 480. – <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143849>.

81. Nainggolan, E. A., Banout, J., Urbanova, K. Application of Central Composite Design and Superimposition Approach for Optimization of Drying Parameters of Pretreated Cassava Flour // Foods. – 2023. – Vol. 12(11). – <https://doi.org/10.3390/foods12112101>.

82. Wirawan, N.N., Fahmida, U., Purwestri, R.C. [et al.] Development of Food Multi-Mix Using a Linear Programming Approach to Fill the Nutrient Gap of Amino Acids and Micronutrients for Stunted Non-Wasted Children // Foods. – 2023. – Vol. 12. No 1. – <https://doi.org/10.3390/foods12010064>.

83. Berezina, N.A., Artemov, A.V., Nikitin, I.A. [et al.] The Use of a Simplex Method with an Artificial basis in Modeling of Flour Mixtures for Bakery Products // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. – 2017. – Vol. 8. No 17. – P. 338-344. – <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2017.081244>.

84. Squeo, G., De Angelis, D., Leardi, R. [et al.] Background, Applications and Issues of the Experimental Designs for Mixture in the Food Sector // Foods. – 2021. – Vol. 10. No 5. – <https://doi.org/10.3390/foods10081941>.

85. Ławrynowicz, A., Wróblewska, A., Adrian, W.T. [et al.] Food Recipe Ingredient Substitution Ontology Design Pattern // Sensors. – 2022. – Vol. 22. No 3. – <https://doi.org/10.3390/s22031095>.

86. Krbez, J., Shaout, A. Fuzzy Nutrition System // International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering. – 2013. – Vol. 1.

87. Derkanosova, N.M., Vasilenko, O.A., Shelamova, S.A. [et al.] Use of the fuzzy-set theory in designing enriched bakery products // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 624. – <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012126>.

88. Gona, S.N.R., Marellapudi, H. Suggestion and invention of recipes using bi-directional LSTMs-based frameworks // SN Applied Sciences. – 2021. – Vol. 3. – <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04548-x>.

89. Tian, Y., Zhang, C., Metoyer R. [et al.]. Recipe Recommendation With Hierarchical Graph Attention Network // Frontiers in Big Data. – 2022. – Vol. 4. – <https://doi.org/10.3389/fdata.2021.778417>.

90. РД IDEF0-2000. Методология функционального моделирования IDEF0. – М.: Госстандарт России, 2000. – 75 с.

91. Моделирование бизнес-процессов / Т.П. Барановская, А.Е. Вострокнутов, И.М. Яхонтова, Е.А. Иванова. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2016. – 154 с. – ISBN 978-5-00097-106-2.

92. Нициевская, К.Н., Мотовилов, О.К. Анализ процесса производства мясных хлебов с помощью метода IDEF0 // Инновации и продовольственная безопасность. – 2019. – № 1(23). – С. 22-29. – <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2019-23-1-22-29>.

93. Islam, S., Cullen, J.M., Manning, L. Visualising food traceability systems: A novel system architecture for mapping material and information flow // Trends in Food Science & Technology. – 2021. – Vol. 112. – P. 708-719. – <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.020>.

94. Plaia, A, Carrie, A. Application and assessment of IDEF3-process flow description capture method // International Journal of Operations & Production Management, – 1995. – Vol. 15 – No. 1. – P. 63–73. – <https://doi.org/10.1108/01443579510077214>.

95. ГОСТ 6687.2-90 Продукция безалкогольной промышленности. Методы определения сухих веществ. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – Введ 01.07.1991. – 12 с.

96. ГОСТ 32114-2013 Продукция алкогольная и сырье для ее производства. Методы определения массовой концентрации титруемых кислот. – М.: Стандартинформ, 2013. – Введ. 01.07.2014. – 12 с.

97. ГОСТ 6687.4-86 Напитки безалкогольные, квасы и сиропы. Методы определения кислотности. – Введ. 01.07.1987. – 7 с.

98. ГОСТ 32000-2012 Продукция алкогольная и сырье для ее производства. Метод определения массовой концентрации приведенного экстракта. – М.: Стандартинформ, 2014. – Введ. 01.07.2014. – 12 с.

99. ГОСТ 8756.13-87 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров. – М.: Стандартинформ, 2010. – Введ. 01.01.1989. – 11 с.

100. Метод определения суммарного содержания фенольных соединений в растительных экстрактах с реактивом Фолина-Дениса и реактивом Фолина-Чокальтеу: модификация и сравнение / Николаева Т.Н., Лапшин П.В., Загоскина Н.В. // Химия растительного сырья. – 2021. – № 2. – С. 291-299. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021028250>.

101. ГОСТ 24556-89 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – Введ. 01.01.1990. – 11 с.

102. ГОСТ 32095-2013 Продукция алкогольная и сырье для ее производства. Метод определения объемной доли этилового спирта. – М.: Стандартинформ, 2014. – Введ. 01.07.2014. – 6 с.

103. ГОСТ 33222-2015 Сахар белый. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2019. – Введ. 01.07.2016. – 19 с.

104. ГОСТ Р 51240-98 (ДИН 1140-94) Соки фруктовые и овощные. Метод определения D-глюкозы и D-фруктозы. – М.: Госстандарт России. – Введ. 01.07.1999. – 10 с.

105. ГОСТ ISO 1108-2018 Пряности и приправы. Определение содержания нелетучего эфирного экстракта. – М.: Стандартинформ, 2018. – Введ. 01.01.2019. – 7 с.

106. ГОСТ 18192-72 Соки плодовые и ягодные концентрированные. Технические условия. – М.: Издательство стандартов. – Введ. 01.01.1974. – 12 с.

107. ГОСТ 29186-91 Пектин. Технические условия. – М.: Издательство стандартов. – Введ. 01.01.1993. – 15 с.

108. ГОСТ 34274-2017 Мальтодекстрины. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2019. – Введ. 01.01.2019. – 18 с.

109. ГОСТ 32051-2013. Продукция винодельческая. Методы органолептического анализа. – М.: Стандартинформ, 2013. – Введ. 01.07.2014. – 16 с.

110. ГОСТ 28188-2014 Напитки безалкогольные. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2014. – Введ. 01.01.2016. – 11 с.

111. ГОСТ 6687.5-86. Продукция безалкогольной промышленности. Методы определения органолептических показателей и объема продукции. – Введ. 01.07.87. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 6 с.

112. ГОСТ ISO 7218-2015. Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Общие требования и рекомендации по микробиологическим исследованиям. – М.: Стандартинформ, 2016. – Введ. 2016-07-01. – 70 с.

113. ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»: утв. решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года № 880: [принят 09.12.2011]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320560> (дата обращения: 05.03.2026).

114. ГОСТ 31659–2012 (ISO 6579:2002). Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода *Salmonella*. – М.: Стандартинформ, 2014. – Введ. 01.07.2013. – 20 с.

115. ГОСТ 30178-96. Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. – М.: Стандартинформ, 2010. – Введ. 01.01.1998. – 10 с.

116. ГОСТ 26930-86. Сырье и продукты пищевые. Метод определения мышьяка. – М.: Стандартинформ, 2010. – Введ. 01.01.1987. – 7 с.

117. ГОСТ 26927-86. Сырье и продукты пищевые. Методы определения ртути. – М.: Стандартинформ, 2010. – Введ. 01.07.1989. – 13 с.

118. Córdova A., Catalán S., Carrasco V. [et al.] Sustainable assessment of ultrasound-assisted extraction of anthocyanins with bio-based solvents for upgrading grape pomace Cabernet Sauvignon derived from a winemaking process // Ultrasonics

Sonochemistry. – 2025. – V. 112. – 107201.
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.107201>.

119. ICNIRP : [официальный сайт]. – URL: <https://www.icnirp.org/> (дата обращения 24.05.2025).

120. Медведев, А.М. Биотехнологические особенности получения CO₂-экстрактов из зернового и орехового сырья / А.М. Медведев, К.Ш. Сакибаев // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2019. – № 5-6(371-372). – С. 50-52. – <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.5-6.13>.

121. Применение электромагнитного поля низкой частоты в технологии пищевых производств / Г.И. Касьянов, Р.С. Решетова, В.Т. Христюк, И.А. Хрипко. – Краснодар : Кубанский государственный технологический университет, 2018. – 311 с. – ISBN 978-5-8333-0786-1.

122. Барышев, М.Г. Использование электромагнитного поля крайне низкочастотного диапазона для регулирования химического состава плодов, ягод и продуктов их переработки / М.Г. Барышев, В.Т. Христюк, Л.Н. Узун // Проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса регионов России : Материалы Международной научно-практической конференции, Уфа, 26 февраля 2002 года. Том 1. – Уфа: Башкирский государственный аграрный университет, 2002. – С. 254-257.

123. Mshenskaya, N.S. The Effect of an Extremely Low-Frequency Electromagnetic Field on the Drought Sensitivity of Wheat Plants / N.S. Mshenskaya, M.A. Grinberg, E.A. Kalyasova et al. // Plant Signaling & Behavior. – 2023. –12: 826. <https://doi.org/10.3390/plants12040826>

124. Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации»: [официальный сайт]. – URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/789/1.-mr-2.3.1.0253_21-normy-pishchevykh-veshchestv.pdf (дата обращения 24.05.2025).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

5-балльная шкала оценки экстрактов из выжимок винограда

Показатель	5 баллов	4 балла	3 балла	2 балла	1 балл
Внешний вид и прозрачность	Прозрачный, без осадка и взвесей	Прозрачный, с единичными мельчайшими частицами	Достаточно прозрачный, с незначительной опалесценцией	Мутноватый, с заметной взвесью	Мутный, с осадком
Цвет	Насыщенный, полный, соответствующий сорту	Хорошо выраженный, но недостаточно интенсивный	Достаточно выраженный, с легкими отклонениями	Слабо выраженный, нехарактерный	Не выражен, нехарактерный
Аромат	Чистый, хорошо развитый, сортовой, гармоничный	Чистый, развитый, но недостаточно тонкий	Чистый, но слабо выраженный, простой	Посторонние тона, недостаточно чистый	Не выражен, с посторонними оттенками
Вкус	Полный, гармоничный, сбалансированный, приятное послевкусие	Достаточно полный, гармоничный, но короткое послевкусие	Простой, недостаточно гармоничный, возможна легкая терпкость	Пустой, негармоничный, с выраженной терпкостью или горечью	Посторонние привкусы, неприятный

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

5-балльная шкала оценки биотрансформированного экстракта

Показатель	5 баллов	4 балла	3 балла	2 балла	1 балл
Внешний вид и прозрачность	Прозрачная, без осадка	Прозрачная, легкая опалесценция	Мутноватая, единичные взвеси	Мутная, заметный осадок	Очень мутная, плотный осадок
Наличие пленки на поверхности	Отсутствует	Следы пленки	Тонкая пленка на части поверхности	Пленка на всей поверхности	Плотная пленка, помутнение
Аромат	Приятный, сложный, с тонами смешанного брожения	Чистый, ферментированный, сортовой	Слабый, простой, но чистый	Посторонние тона, кислый	Резкий уксусный, гнилостный
Вкус	Сбалансированный, кисло-сладкий, с приятным послевкусием	Гармоничный, с легкой кислинкой	Простой, недостаточно гармоничный, терпкий	Несбалансированный, излишне кислый или горький	Неприятный, уксусный, посторонний
Цвет	Интенсивный, однородный, свойственный сырью	Хорошо выраженный, равномерный	Достаточно выраженный, с легкими отклонениями	Слабо выраженный, неоднородный	Нехарактерный, изменившийся

ПРИЛОЖЕНИЕ В

10-балльная шкала оценки функционального безалкогольного напитка «Юланта-БИО»

Показатель	10–9 баллов	8–7 баллов	6–5 баллов	4–3 балла	2–1 балл
Внешний вид и прозрачность	Прозрачный, блестящий, без осадка и взвесей	Прозрачный, со слабой опалесценцией	Мутноватый, легкая взвесь	Мутный, заметный осадок	Очень мутный, плотный осадок, посторонние включения
Цвет	Насыщенный, яркий, равномерный, соответствующий типу	Хорошо выраженный, равномерный	Достаточно выраженный, чистый	Слабо выраженный, неоднородный	Нехарактерный, с признаками окисления
Аромат	Сложный, интенсивный, гармоничный, с тонами ферментации и сырья	Чистый, развитый, сортовой	Чистый, простой, слабой интенсивности	Слабый, плохо различимый, посторонние тона	Неприятный, уксусный, гнилостный
Вкус	Полный, сбалансированный, с долгим приятным послевкусием	Гармоничный, с чистым послевкусием	Простой, но чистый, легкая кислин-ка	Негармоничный, терпкий, горьковатый	Посторонний, окисленный, уксусный

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Скриншоты работы приложений

Органолептика

Содержание сахара в экстракте из выжимок, % (0.1...2.1)
1

Сахар по рецептуре, % (1...10)
4

Органолептика (суммарный балл, прогноз)
4,9375

О программе

Рекомендуется к дальнейшей переработке.
Внешний вид: почти прозрачный с крайне незначительным количеством пены

Аромат, прогноз, баллы
5

Вкус, прогноз, баллы
5

Цвет, прогноз, баллы
5

Внешний вид, прозрачность, прогноз, баллы
4,75

Рисунок Г.1 – Главное окно программы для ЭВМ «Численное моделирование органолептических показателей напитка брожения из выжимок белого винограда»

Органолептика

Содержание сахара в экстракте из выжимок, % (0.1...2.1)
3

Сахар по рецептуре, % (1...10)
4

Органолептика (суммарный балл, прогноз)
-

О программе

Данная программа предназначена для прогнозирования органолептических показателей напитка брожения из виноградных выжимок белого винограда на основании содержания сахара в водном экстракте из виноградных выжимок и добавленного сахара по рецептуре.

Аромат, прогноз, баллы
-

Вкус, прогноз, баллы
-

Цвет, прогноз, баллы
-

Внешний вид, прозрачность, прогноз, баллы
-

Рисунок Г.2 – Неверный ввод исходных данных

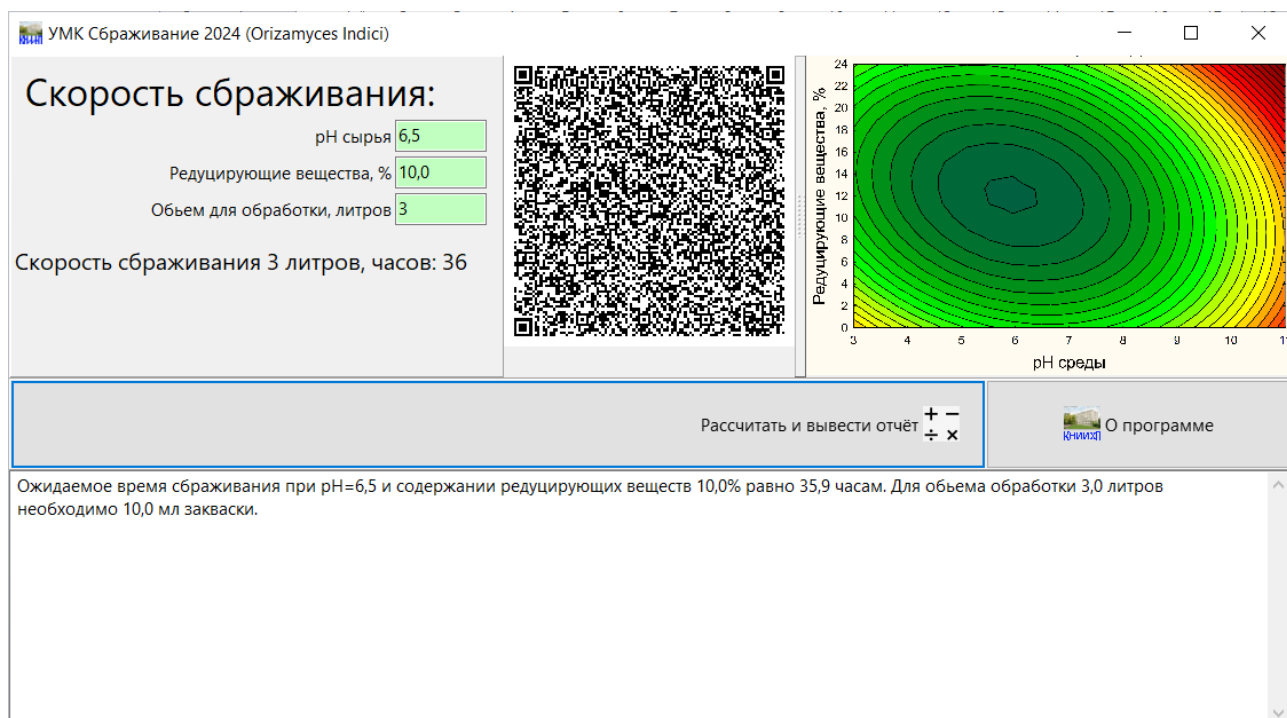


Рисунок Г.3 – Главное окно программы для ЭВМ «Автоматизированный расчет скорости сбраживания субстрата поликультурой *Orizamyces Indici* в зависимости от изменения pH среды и содержания редуцирующих сахаров»

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2024687729

**Автоматизированный расчет скорости сбраживания
субстрата поликультурой *Orizamyces Indici* в
зависимости от изменения рН среды и содержания
редуцирующих сахаров (УМКСбраживание2024)**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное научное
учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный центр
садоводства, виноградарства, виноделия» (RU)*

Авторы: *Першакова Татьяна Викторовна (RU), Иванова Елена
Александровна (RU), Бородихин Александр Сергеевич (RU),
Яковлева Татьяна Викторовна (RU), Чернявская Юлия
Николаевна (RU), Тягущева Анна Анатольевна (RU)*

Заявка № **2024687195**

Дата поступления **12 ноября 2024 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **20 ноября 2024 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025684773

**Численное моделирование органолептических
показателей напитка брожения из выжимок белого
винограда**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный
научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»
(RU)*

Авторы: *Першакова Татьяна Викторовна (RU), Чернявская
Юлия Николаевна (RU), Тягущева Анна Анатольевна (RU),
Иванова Елена Александровна (RU)*



Заявка № 2025680258

Дата поступления 07 августа 2025 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 17 сентября 2025 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов



ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Технические условия

Краснодарский научно-исследовательский институт
хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал
Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Северо-Кавказский федеральный научный центр
садоводства, виноградарства, виноделия»
(КНИИХП – ФИЛИАЛ ФГБНУ СКФНЦСВВ)

ОКПД2 11.07.19.133
ОКП 91 8517

ОКС 67.160.20 (Группа Н 71)

УТВЕРЖДАЮ
Директор КНИИХП – филиал
ФГБНУ СКФНЦСВВ, канд. техн. наук,
Г.А. Купин
«30» октября 2025 г.

НАПИТОК «ЮЛАНТА-БИО»

Технические условия

ТУ 11.07.19 – 098 – 17021101 – 2025

(Утверждены впервые)

Дата введения в действие «30» октября 2025 г.

РАЗРАБОТАНО
КНИИХП – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ
Ведущий научный сотрудник
отдела хранения и комплексной
переработки сельскохозяйственного сырья,
д-р. техн. наук,

_____ Т.В. Першакова
Младший научный сотрудник
отдела хранения и комплексной
переработки сельскохозяйственного сырья,

_____ Ю.Н. Чернявская
Младший научный сотрудник
отдела хранения и комплексной
переработки сельскохозяйственного сырья

_____ А.А. Тягушева
Соискатель _____ Е.А. Иванова

Краснодар
2025

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Технологическая инструкция

Краснодарский научно-исследовательский институт
хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал
Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Северо-Кавказский федеральный научный центр
садоводства, виноградарства, виноделия»
(КНИИХП – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ)

УТВЕРЖДАЮ
Директор КНИИХП – филиал
ФГБНУ СКФНЦСВВ, канд. техн. наук.,
Г.А. Купин
«30» сентября 2025 г.

ТИ 11.07.19.133 – 098 – 17021101 – 2025

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ НАПИТКА «ЮЛАНТА-БИО»

Дата введения «30» сентября 2025 г.

Настоящий документ не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован
и распространен без разрешения КНИИХП – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ

Краснодар
2025

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Акт внедрения

СОГЛАСОВАНО
Директор КНИИХП – филиала
ФГБНУ СКФНЦСВВ

УТВЕРЖДАЮ
Председатель Совета
Славянского РСПК

« 03 » июня 2025 г. Купин Г.А.

« 06 » июня 2025 г. Филатова О.И.

Акт внедрения

охраняемых результатов научно-исследовательских и технологических работ Краснодарского научно-исследовательского института хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия» (КНИИХП – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ)

Заказчик: Славянский РСПК

РИД: «Автоматизированный расчёт скорости сбраживания субстрата поликультурой *Orizomyces Indici* в зависимости от изменения pH среды и содержания редуцирующих сахаров (УМК Сбраживание 2024)», программа для ЭВМ.

Настоящим актом подтверждается, что результаты работы по внедрению программы для ЭВМ позволяет прогнозировать скорость сбраживания субстрата (экстракта виноградных выжимок) в зависимости от pH среды и содержания редуцирующих сахаров, что позволит обеспечить оптимизацию технологического процесса по критерию «время сбраживания», повысив его экономическую эффективность на 2-5 %.

Выполнены в отделе хранения и комплексной переработки с/х сырья КНИИХП-филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ в срок с 1.04. 2025 г. по 1.06. 2025 г.

1. Новизна результатов НИР: моделирование технологии сбраживания субстрата (моделирование процессов, протекающих при сбраживании в зависимости от параметров сбраживания позволяющие повысить экономическую эффективность)

2. Номер охранного документа: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 000000 зарегистрировано в Госреестре программ для ЭВМ 00.00.2024.

3. Годовой экономический эффект:

- ожидаемый: 10 руб./литр.

- фактический: 10 руб./литр.

4. Объём внедрения: 1000 литров

5. Социальный и научно-технический эффект: усовершенствование технологии сбраживания экстракта виноградных выжимок, обеспечивающей повышение эффективности работы.

От КНИИХП – филиала
ФГБНУ СКФНЦСВВ

Руководитель НИР

Т.В. Першакова

Исполнители:

Аспирант А.А. Тягушева

Аспирант Ю.Н. Чернявская

Е.А. Иванова

От предприятия

Технолог

Н.П. Ткаченко