

*На правах рукописи*



Соловьев Александр Олегович

**РАЗРАБОТКА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ БИОТЕХНОЛОГИИ  
ПРОТЕИНОВЫХ КОРМОПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ  
ВТОРИЧНЫХ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ ЗЕРНОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ  
ПРОИЗВОДСТВ И ТОПИНАМБУРА**

Специальность: 4.3.5 Биотехнология продуктов питания и  
биологически активных веществ

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2024

Работа выполнена во Всероссийском научно-исследовательском институте пищевой биотехнологии – филиале Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи (ВНИИПБТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии») (г. Москва, РФ).

**Научный руководитель:** **Абрамова Ирина Михайловна**  
доктор технических наук, директор ВНИИПБТ-филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

**Официальные оппоненты:** **Лукин Николай Дмитриевич**  
доктор технических наук, заместитель директора по научной работе ВНИИ крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиала ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха»

**Фоменко Иван Андреевич**  
кандидат технических наук, доцент кафедры биотехнологии и технологии продуктов биоорганического синтеза ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ»

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)»

Защита состоится «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 года в \_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 24.2.334.03 на базе ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)» по адресу: 125080, г. Москва, Волоколамское ш., д. 11, корп. А.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)» по адресу: 125080, г. Москва, Волоколамское ш., д. 11. Полный текст диссертации размещен в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)» <http://www.mgupp.ru>.

Автореферат размещен на официальных сайтах ВАК при Минобрнауки России (<https://vak.minobrnauki.gov.ru>) и ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)» (<http://www.mgupp.ru>).

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

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 24.2.334.03,  
кандидат технических наук,  
доцент

Кусова Ирина Урузмаговна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В современных условиях рынка комплексная переработка продовольственного сырья – одно из важнейших направлений развития агропромышленного комплекса Российской Федерации. Ключевым вопросом в реализации полного цикла переработки углеводсодержащего сырья является использование вторичных сырьевых ресурсов (ВСР), образующихся в ходе производственного процесса, с дальнейшим получением дополнительной товарной продукции. Наиболее актуально решение этой задачи для крупных предприятий по глубокой переработке зернового сырья в клейковину, нативный или модифицированный крахмалы, глюкозо-фруктозные сиропы, аминокислоты, этиловый спирт и другие продукты с высокой добавленной стоимостью. Реализация ВСР в натуральном виде весьма ограничена, а утилизация затратна. Поэтому наиболее рациональной является разработка технологий для их переработки в продукцию, которая востребована на рынке.

В ходе поиска доступного источника углеводов установлена перспектива использования клубней топинамбура. Технологическая база его переработки ограничена и не позволяет реализовать весь его потенциал, в то время как данный вид сырья представляет большой интерес благодаря своему химическому составу.

В рамках реализации программы по развитию сельского хозяйства активно стимулируется развитие животноводства. Данная отрасль зависима от высококачественных кормовых добавок, дефицит которых ранее восполнялся за счет импортной продукции, типа соевых шротов и подсолнечного жмыха. Текущая экономическая ситуация не позволяет восполнять дефицит белковых кормовых добавок в полном объеме из-за их возросшей стоимости, усложнившейся логистики. Восполнение такого дефицита за счет производственных мощностей, которые не зависимы от импорта – невозможно. Это связано с отсутствием промышленной базы получения белковых кормовых продуктов высокого качества.

В связи с изложенным выше остро стоит вопрос разработки технологии по биоконверсии ВСР предприятий по глубокой переработке углеводсодержащего сырья с получением высококачественной белковой кормовой продукции. Разработка подобной технологии позволит рационально использовать ВСР, будет способствовать устранению имеющегося дефицита протеиновых кормопродуктов, создаст дополнительные рабочие места и увеличит рентабельность основного производства.

**Степень разработанности темы.** Значительный научно-практический вклад в разработку современных биотехнологических производств отраслей АПК внесли

отечественные и зарубежные ученые: Абрамова И. М., Волкова Г. С., Воробьева Г. И., Климовский Д. И., Коновалов С. А., Кононенко В. В, Леденев В. П., Лукин Н. Д., Оганесянц Л. А., Поляков В. А., Римарева Л. В., Серба Е. М., Томмэ М. Ф., Туршатов М. В., Фертман Г. И., Щербина Г. П., Яровенко В. Л., Voze H., Galzy P., Moulin G. и др. Однако результаты исследований, посвященных биоконверсии ВСП, таких как: фракция крахмала Б, пентозаны, отруби, а также клубней топинамбура в протеиновые кормопродукты практически отсутствуют, что сдерживает потенциал их промышленного применения.

**Цель исследования** - разработка ресурсосберегающей технологии протеиновых кормопродуктов путем микробной биоконверсии углеводсодержащих ВСП и клубней топинамбура.

**Задачи исследования:**

- обобщить и систематизировать теоретические и практические данные микробного биосинтеза при получении протеиновых кормопродуктов с высокой кормовой ценностью;
- исследовать химический состав ВСП глубокой переработки зерна и клубней топинамбура для оценки возможности их применения в технологии получения протеиновых кормопродуктов;
- разработать и научно обосновать рациональные режимы водно-тепловой и ферментативной обработки сырья для приготовления питательных сред;
- разработать рациональный состав питательных сред на основе ВСП глубокой переработки зерна и клубней топинамбура для проведения на них эффективного процесса культивирования микроорганизмов-продуцентов кормового белка;
- обосновать применение наиболее перспективных штаммов-продуцентов кормового белка;
- определить химический состав, кормовую и энергетическую ценность полученного протеинового кормопродукта;
- разработать аппаратно-технологическую схему предложенной технологии и оценить экономический эффект от ее реализации.

**Научная новизна.**

- изучен химический состав протеиновых кормопродуктов на питательных средах из ВСП и клубней топинамбура;
- впервые получены научно обоснованные данные по подбору рационального состава питательной среды на основе ВСП глубокой переработки зерна и клубней топинамбура, обеспечивающего эффективную биоконверсию углеводов сырья в протеиновые кормопродукты;
- изучено и выявлено рациональное соотношение компонентов мультиэнзимного

комплекса, обеспечивающее эффективную экстракцию и гидролиз полисахаридов сырья;

- получены новые экспериментальные данные о биоконверсии углеводов ВСП и клубней топинамбура в кормовой белок дрожжеподобных микроорганизмов *Saccharomyces cerevisiae* RCAM 01137 и Y-3585, *Rhodospiridium diobovatum* Rh. d-1 RCAM 01131, *Candida tropicalis* CK-4;

- впервые выявлены закономерности влияния углеводно-минерального состава питательной среды на эффективность микробного синтеза белковых веществ и качество получаемой целевой продукции при переработке ВСП и клубней топинамбура.

**Теоретическая и практическая ценность.** Результаты установленных закономерностей процессов биоконверсии ВСП глубокой переработки зерна и клубней топинамбура использованы для разработки ресурсосберегающей биотехнологии протеиновых кормопродуктов с высокой кормовой ценностью. При этом:

- разработаны режимы водно-тепловой и ферментативной обработки сырья, определены состав питательной среды и условия культивирования микроорганизмов-продуцентов кормового белка;

- разработан комплект нормативно-технической документации: ТУ 9290-001-77884989-2018 «Дрожжи кормовые «Аннинские»; ПТР 10-194-18 «Постоянный технологический регламент производства дрожжей кормовых "Аннинские" из крахмалосодержащего сырья»;

- проведены опытно-промышленные испытания разработанной технологии с наработкой опытной партии протеинового кормового продукта в количестве 200 тонн.

Созданная технология внедрена на предприятии ООО «Этилацетат» и позволяет получать кормовые дрожжи с содержанием протеина до 47 % на абсолютно сухое вещество (а.с.в.).

**Методология и методы исследования.** В основе организации и проведения исследований лежат работы отечественных и зарубежных ученых. Методологическую основу диссертации составляют законы классического научного познания, современные методы исследования. Для определения состава и характеристик ВСП, клубней топинамбура и протеиновых кормопродуктов использовались стандартные физико-химические методы оценки качества. Математическая обработка результатов исследования производилась с применением компьютерных программ Statistica 10 и Microsoft Excel.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

- обоснование состава питательной среды на основе ВСП, содержащего фракции крахмала Б и пентозанов в соотношении 1 : 4;

- режимы водно-тепловой и ферментативной обработки сырья для создания питательной среды со сбалансированным химическим составом;
- данные по химическому составу питательных сред, приготовленных на основе ВСР и измельченных клубней топинамбура;
- новые экспериментальные данные по культивированию микроорганизмов-продуцентов кормового белка и химическому составу получаемой кормопродукции;
- технология промышленной переработки ВСР и измельченных клубней топинамбура в протеиновые кормопродукты, их химический состав, кормовая и энергетическая ценность.

#### **Соответствие диссертации паспорту научной специальности.**

Диссертационная работа соответствует пунктам: 15, 16, 29 паспорта специальности 4.3.5. «Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ».

**Степень достоверности результатов** подтверждается использованием современных физико-химических, биохимических, микробиологических методов анализа, актом опытно-промышленных испытаний разработанной технологии на ООО «Этилацетат» по культивированию *R. diobovatum* Rh. d-1 RCAM 01131 на ВСР глубокой переработки зерна с получением целевой продукции. Теоретические и практические аспекты научного направления подтверждены результатами экспериментальных исследований, проведенных в лабораторных и промышленных условиях, их достоверность подтверждена статистическими и сравнительными данными. Статистическую значимость различий определяли методом однофакторного дисперсионного анализа с апостериорным критерием Тьюки при  $p < 0,05$  с использованием программы Statistica 10.

**Личный вклад соискателя** заключается в анализе литературы, определении цели и задач исследований, проведении экспериментов, разработке комплектов научно-технической документации, аргументировании выводов, формулировании и обосновании основных научных положений, выносимых на защиту, подготовке научных публикаций и представлении их в виде научных докладов.

**Апробация результатов.** Основные положения и результаты работы доложены на: Международном научно-практическом семинаре «Перспективные технологии и методы контроля в производстве спиртных напитков» (Москва, 2021 г.), XI Международном научно-практическом симпозиуме «Перспективные ферментные препараты и биотехнологические процессы в технологиях пищевых продуктов и кормов» (Москва, 2023 г.), IV Конгрессе «Наука, питание и здоровье» (Минск, 2023 г.),

XVIII Всероссийском конгрессе с международным участием «Нутрициология и диетология для здоровьесбережения населения России» (Москва, 2023 г.), IV Международная научно-практическая конференция «Инновационные процессы в пищевых технологиях: наука и практика» посвященная 95-летию ордена Трудового Красного Знамени Всероссийского научно-исследовательского института зерна и продуктов его переработки (Москва, 2024 г.) и др. Разработанная технология апробирована и внедрена на ООО «Этилацетат».

**Публикации.** По материалам работы опубликованы 30 научных статей и тезисов, в том числе 6 статей в изданиях, индексируемых международными базами данных, 7 статей в журналах рекомендуемых ВАК, 9 докладов на всероссийских и международных конференциях.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, обзора литературы, экспериментальной части, заключения, списка использованной литературы и приложений. Основное содержание работы изложено на 160 страницах машинописного текста, содержит 21 рисунок и 25 таблиц. Библиография включает 191 наименование, из них 97 иностранных.

**Связь работы с научными программами.** Работа выполнялась в рамках государственного задания Тема № 0529-2019-0066 «Разработка безотходной технологии переработки зернового сырья на спирт, пищевую и кормовую продукцию. Оценка ее пищевой ценности и безопасности», гранта Российского научного фонда № 22-16-00159, <https://rscf.ru/project/22-16-00159/>

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **ВВЕДЕНИИ** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований, определены основные направления их реализации, показана научная новизна и практическая значимость результатов исследований.

### 1 Обзор литературы

В литературном обзоре проанализированы и обобщены вопросы состояния отрасли по производству протеиновых кормопродуктов микробным синтезом в России и за рубежом. Рассмотрены микроорганизмы-продуценты кормового белка и виды сырья, на основе которых возможно получение протеиновой кормопродукции. Проведен анализ основных аспектов культивирования микроорганизмов-продуцентов кормового белка. Проанализирована ситуация на современном рынке кормовой продукции России.

## 2 Экспериментальная часть

### 2.1 Объекты и методы исследования

В разделе представлен общий алгоритм исследований (Рисунок 1), дана характеристика объектов, описаны методы и условия проведения экспериментальных работ.



Рисунок 1 – Алгоритм исследования

Исследования проводили в лабораторных условиях на аппаратурной базе отдела технологии спирта и комплексной переработки сырья ВНИИПБТ-филиала ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» и производственных условиях ООО «Этилацетат».

Объектами исследования служили образцы ВСР глубокой переработки зерна: отруби пшеничные, фракции крахмала Б и пентозанов, зерновая барда, предоставленные ООО «Аминосиб» и клубни топинамбура сортов: «Интерес», «Скороспелка», «Находка» предоставленные ООО «ИстАгроДон».

Для снижения вязкости и ферментативного гидролиза полисахаридов сырья



использовали ферментные препараты производства «Novozymes» (Дания): Viscoferm (комплексный ферментный препарат, содержащий ксиланазу,  $\beta$ -глюканазу, целлюлазу и  $\alpha$ -амилазу), Lp-Nera (термостабильная  $\alpha$ -амилаза), Saczyme Plus 2X (комплексный ферментный препарат, содержащий глюкоамилазу и  $\alpha$ -амилазу), Novozym 960 (источник инулиназы).

При анализе продуктов и полупродуктов руководствовались: ГОСТ Р 57221-2016, Р 4.1.1672-03, ГОСТ 32933-2014, ГОСТ ISO 734-1-2016, а также другими общепринятыми и специальными физическими, физико-химическими, химическими, биохимическими, микробиологическими, хроматографическими и спектрофотометрическими методами анализа.

### 3 Результаты исследований и их обсуждение

#### 3.1 Исследование характеристик сырья

В Таблице 1 приведены результаты исследования химического состава ВСП глубокой переработки зерна и клубней топинамбура

Таблица 1 - Химический состав исходного сырья

Показатель	Крахмал Б	Пентозаны	Отруби пшеничные	Зерновая барда	Клубни топинамбура
СВ, %:					
- общие	31,70±0,20	2,50±0,10	86,80±0,40	6,50±0,20	24,1±0,18
- растворимые	6,20±0,20	1,95±0,09	отсутствуют <sup>а</sup>	5,70±0,10	17,2±0,12
- взвешенные	25,50±0,10	0,55±0,05	отсутствуют <sup>а</sup>	0,80±0,10	6,9±0,11
Массовая доля сырого протеина, % на а.с.в.	9,4±0,1	27,4±0,4	16,0±0,4	20,5±0,2	4,35±0,13
Массовая доля белка, % на а.с.в.	9,3±0,1	21,3±0,1	15,6±0,4	21,1±0,2	4,11±0,08
Условная крахмалистость, %	23,5±0,2	0,9±0,1	22,8±0,1	0,3±0,1	-
pH	4,45±0,25	6,50±0,31	отсутствует <sup>а</sup>	4,10±0,29	6,20±0,07
Титруемая кислотность, град	0,2±0,1	отсутствует <sup>б</sup>	отсутствует <sup>а</sup>	0,5±0,1	отсутствует <sup>б</sup>

<sup>а</sup>отсутствие показателя связано с тем, что отруби являются сухим продуктом

<sup>б</sup>отсутствие показателя связано с щелочной природой среды

Полученные данные свидетельствуют о том, что не все сырьевые ресурсы удовлетворяют условиям культивирования в натуральном виде, что связано с особенностями химического состава сырья: неоптимальное содержание СВ, углеводов и белковых веществ. Поэтому целесообразно создание композиции из разных видов сырья.

Применение клубней топинамбура в качестве компонента среды для

культивирования микроорганизмов-продуцентов кормового белка также обосновано его богатым химическим составом (Крикунова Л. Н. с соавт., 2017)

### **3.2 Разработка состава питательной среды и определение рационального режима водно-тепловой и ферментативной обработки**

Данные, полученные в ходе исследования химического состава сырья, позволили разработать варианты состава питательных сред, потенциально удовлетворяющие требованиям с точки зрения культивирования микроорганизмов-продуцентов кормового белка:

Среда 1 – 100 % фракция пентозанов;

Среда 2 – 20 % фракция крахмала Б + 80 % фракция пентозанов;

Среда 3 – 10 % отруби пшеничные + 90 % фракция пентозанов;

Среда 4 – 100 % зерновая барда;

Среда 5 – 80 % зерновая барда + 20 % фракция крахмала Б;

Среда 6 – 40 % измельченные клубни топинамбура + 60 % фракция пентозанов.

Выбор соотношений компонентов сред обоснован необходимостью создания технологичной питательной среды с содержанием растворимых сухих веществ (СВ) не более 7% и углеводов не более 6%. Экспериментально установлено, что дальнейшее повышение концентрации растворимых СВ в питательной среде приводит к угнетению клеток микроорганизмов в связи с критическим повышением осмотического давления. Увеличение концентрации усвояемых углеводов смещает метаболизм микроорганизмов в сторону анаэробного дыхания с образованием этилового спирта (Кольман с соавт., 2019).

Культивирование дрожжей на средах с пониженной концентрацией растворимых СВ приводит к дефициту углеводов в среде и снижению эффективности культивирования с уменьшением выхода биомассы, что экономически не оправдано с учетом дальнейшей переработки культуральной жидкости (КЖ) в сухие протеиновые кормопродукты.

Перед началом культивирования для обеспечения эффективной ассимиляции углеводов микроорганизмами был проведен гидролиз полисахаридов питательных сред. С целью определения рационального режима водно-тепловой и ферментативной обработки сред исследовали 2 схемы: механико-ферментативную при температуре разваривания не более 90 °С и схему разваривания под давлением при температуре до 130 °С. Установлено, что «жесткая» схема более энергоемкая и сложная с точки зрения аппаратного оформления, а эффективность ее применения оказалась незначительно выше эффективности механико-ферментативной схемы (Туршатов с соавт., 2020).

Ферментативную обработку питательных сред проводили с использованием ферментных препаратов компании «Novozymes». В ходе исследования подобран мультиэнзимный комплекс (МЭК), включающий: Viscoferm в дозировке 0,25 ед. КС/г сухих веществ и Lp-Nera в дозировке 4,5 ед. АС/г крахмала сырья; при ферментативном гидролизе применяли Saczyme Plus 2X в дозировке 9 ед. ГлС/г крахмала сырья для сред 1-5 и Novozym 960 в дозировке 0,5 ед. INU/г сухих веществ для среды 6. Показатели сред после водно-тепловой и ферментативной обработки по механико-ферментативному способу приведены в Таблице 2.

Таблица 2 - Технологические показатели питательных сред\*

Показатель	Среда 1	Среда 2	Среда 3	Среда 4	Среда 5	Среда 6
СВ, %:						
-общие	2,5±0,1	8,3±0,3 <sup>a</sup>	10,8±0,2 <sup>b</sup>	6,5±0,2	8,3±0,1 <sup>a</sup>	11,0±0,1 <sup>b</sup>
-растворимые	2,0±0,1	6,7±0,1 <sup>c</sup>	2,5±0,1	5,6±0,2	6,8±0,2 <sup>c</sup>	7,7±0,1
-взвешенные	0,1±0,1	1,0±0,1	8,1±0,2	0,8±0,1	1,2±0,1	3,1±0,1
РВ, г/100 см <sup>3</sup>	1,05±0,14	5,50±0,26 <sup>d</sup>	1,89±0,09	0,55±0,11	5,15±0,18 <sup>d</sup>	5,47±0,16 <sup>d</sup>
Нерастворенный крахмал, г/100 см <sup>3</sup>	0 <sup>e</sup>	0 <sup>e</sup>	0 <sup>e</sup>	0 <sup>e</sup>	0 <sup>e</sup>	0 <sup>e</sup>
рН	5,10±0,3 <sup>f</sup>	5,24±0,2 <sup>f</sup>	5,59±0,4 <sup>f</sup>	5,00±0,3 <sup>f</sup>	5,20±0,2 <sup>f</sup>	5,16±0,2 <sup>f</sup>
Массовая доля белка:						
-% на а.с.в.	21,30±0,11 <sup>g</sup>	20,70±0,12 <sup>g</sup>	15,80±0,22	21,11±0,11 <sup>g</sup>	19,10±0,14	14,11±0,12
-г/100 г	0,49±0,12	0,89±0,14	1,66±0,21	0,72±0,16	0,75±0,17	1,54±0,09

\*Значения, обозначенные одинаковыми буквенными индексами, статистически неразличимы при уровне значимости  $p < 0,05$ .

Отсутствие нерастворенного крахмала в полученных средах подтверждает эффективность механико-ферментативной схемы обработки питательных сред.

Данные о степени гидролиза полисахаридов рассматриваемых видов сырья с использованием предложенной МЭК получены впервые и свидетельствуют о возможности эффективной биоконверсии ВСП и клубней топинамбура в протеиновые кормопродукты.

### 3.3 Выбор микроорганизмов-продуцентов кормового белка

Анализ известных микроорганизмов-продуцентов кормового белка позволил определить наиболее перспективные штаммы: *Saccharomyces cerevisiae* RCAM 01137 и Y-3585, *Rhodospiridium diobovatum* Rh. d-1 RCAM 01131, *Candida tropicalis* CK-4.

Данные штаммы поддерживаются в коллекции микроорганизмов ВНИИПБТ и отличаются: высокой степенью ассимиляции питательных веществ - сахара, мальтоза, раффиноза, глюкоза, ксилоза, маннит, глицерин, лактоза, раффиноза, простые

декстрины; лимонная, уксусная, яблочная и молочная кислоты; не требовательны к условиям культивирования; обладают высокой биосинтетической способностью по отношению к белку.

Оптимум температуры культивирования всех рассматриваемых штаммов лежит в диапазоне от 30 до 38 °С, optimum pH 5,0-5,5. Биосинтетическая способность по белку (по Барнштейну) составляет до 40 %, по сырому протеину – до 50 %. Промышленный штамм *C. tropicalis* CK-4 - наиболее распространенный продуцент кормового белка. Наибольший научный и практический интерес представляет штамм *R. diobovatum* Rh. d-1 RCAM 01131, являющийся продуцентом не только белка, но и бета-каротина. Кроме того, *R. diobovatum* Rh. d-1 RCAM 01131 также апробирован в промышленном масштабе при культивировании на других питательных средах с хорошими показателями по накоплению биомассы.

### 3.4 Исследования по оптимизации минерального питания

В исследованиях использовали соли-источники азота и фосфора: карбамид; сульфат аммония; диаммонийфосфат. Об эффективности процесса культивирования судили по накоплению белка по Барнштейну, сырого протеина, морфологическим характеристикам дрожжей и титру их клеток. Дозировки выбирали исходя из количественного содержания элементов в соли и их роли в метаболизме микроорганизмов.

Таблица 3 - Показатели КЖ на примере *R. diobovatum* Rh. d-1 RCAM 01131

Питательная среда	Соль	Дозировка, % к объему субстрата	Белок по Барнштейну, % на а.с.в.*	Сырой протеин, % на а.с.в.	Количество клеток дрожжей, млн/см <sup>3</sup> *
20 % фракция крахмала Б + 80 % фракция пентозанов	карбамид	0,3	32,4±0,2	40,6±0,2	720±15 <sup>de</sup>
		0,6	34,7±0,1	44,0±0,2	825±12 <sup>f</sup>
		0,9	34,1±0,1	46,1±0,3	859±21 <sup>g</sup>
	сульфат аммония	0,5	30,6±0,4	36,2±0,2	703±14 <sup>d</sup>
		1	31,7±0,2	40,6±0,3	828±11 <sup>fg</sup>
		1,5	31,5±0,3	43,1±0,1	979±16
	карбамид + диаммоний фосфат	0,1+0,03	33,2±0,3	41,4±0,2	740±15 <sup>e</sup>
		0,2+0,06	40,8±0,3	50,0±0,2	834±12 <sup>fg</sup>
		0,3+0,09	41,4±0,1	54,8±0,1	916±19

\*Значения, обозначенные одинаковыми буквенными индексами, статистически не различимы, при уровне значимости  $p < 0,05$ .

В Таблице 3, приведены результаты влияния минеральных солей и их количества при биосинтезе белка на примере *R. diobovatum Rh. d-1 RCAM 01131*.

Доказано, что при культивировании в качестве минерального питания предпочтительно применение комплекса карбамида и диаммоний фосфата. Установлено, что используемые дозировки минерального комплекса, состоящего из 0,3 % карбамида и 0,09 % диаммоний фосфата обеспечивали достижение наиболее высокого уровня белка и титра дрожжевых клеток. Однако наиболее целесообразной дозировкой является 0,2 % карбамида и 0,06 % диаммоний фосфата, поскольку большее количество минеральных веществ не способно эффективно усваиваться в процессе метаболизма микроорганизмов. За счет избытка солей увеличивается концентрация свободного азота в продукте, что искусственно повышает уровень сырого протеина, снижает реальную питательную ценность корма и может негативно влиять на эффективность применения подобной кормопродукции (Менькин с соавт., 1989).

### 3.5 Исследование качественного состава образцов протеинового кормопродукта

В ходе исследования КЖ штаммов *S. cerevisiae RCAM 01137* и *Y-3585*, *R. diobovatum Rh. d-1 RCAM 01131*, *C. tropicalis CK-4* определяли основные параметры: концентрацию СВ и массовую долю белка по Барнштейну. Установлено, что накопление белковых веществ варьировало в широких пределах в зависимости от состава питательной среды и используемого продуцента.

На рисунках 2 и 3 приведена сравнительная характеристика питательной среды и КЖ после культивирования микроорганизмов-продуцентов кормового белка на разработанных питательных средах с применением комплекса минерального питания.

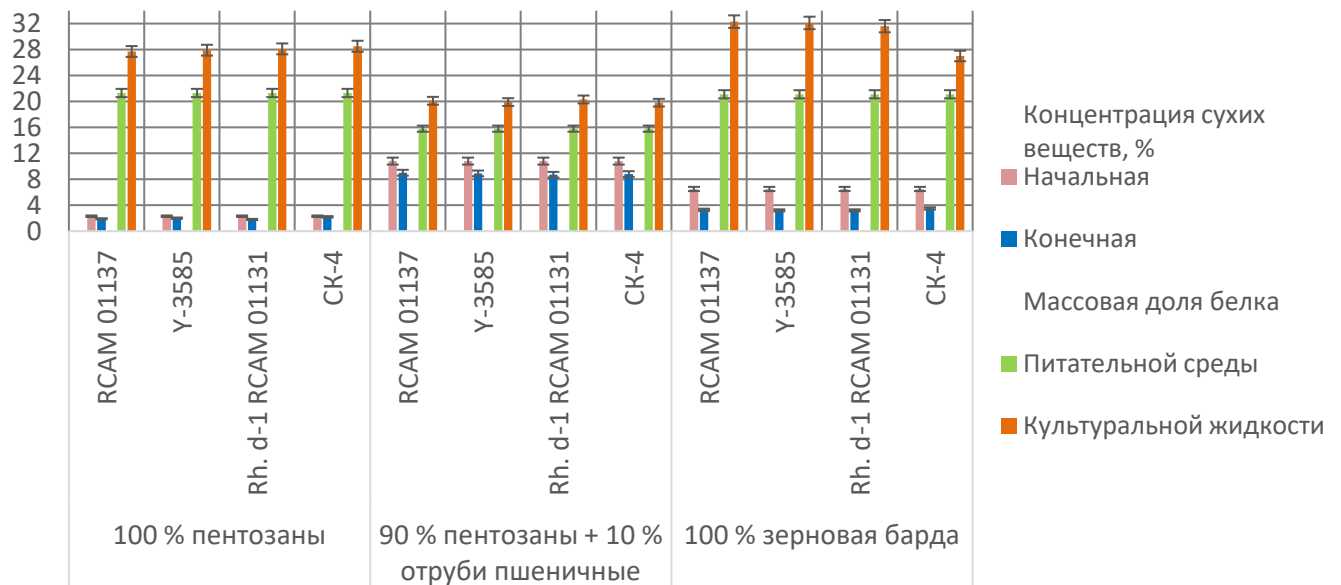


Рисунок 2 - Сравнение основных характеристик питательной среды и КЖ

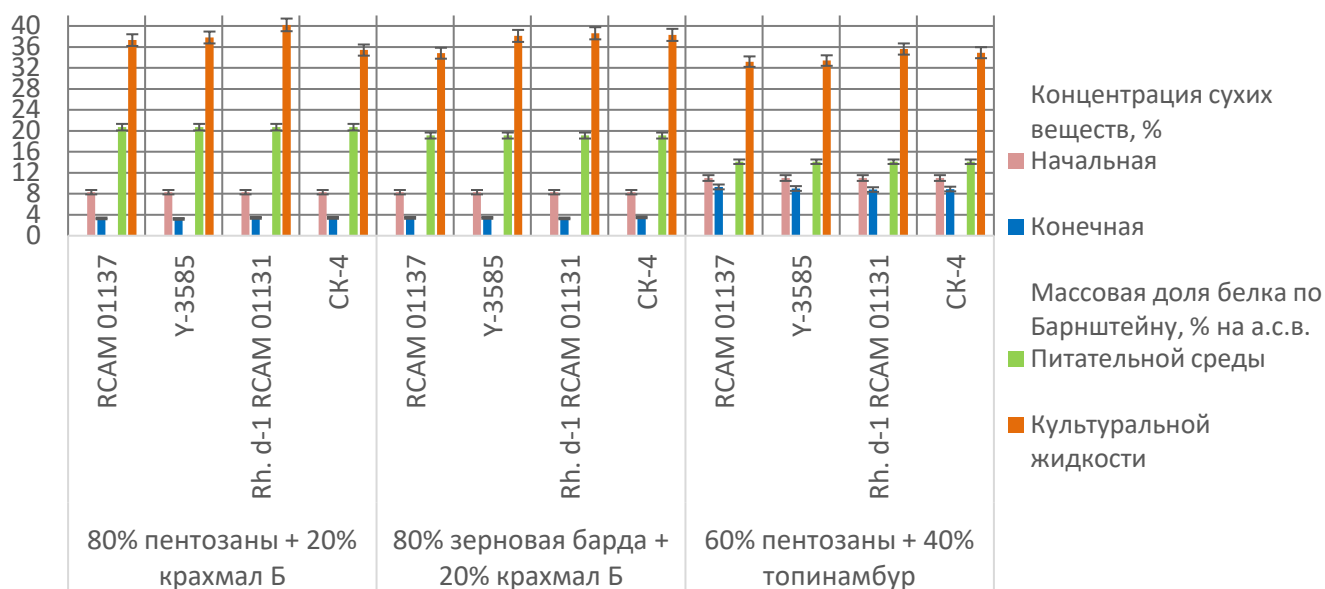


Рисунок 3 - Сравнение основных характеристик питательной среды и КЖ

Показано, что наиболее высокий прирост белка был достигнут на средах 2 (с 20,7 % до 40,2 %, на а.с.в.) и 5 (с 19,1 % до 38,6 % на а.с.в.). При этом продуктивность штамма *R. diobovatum Rh. d-1 RCAM 01131* по белку была наиболее высокой практически на всех питательных средах, в том числе превысила показатель промышленно используемого штамма кормовых дрожжей *C. tropicalis CK-4*.

Применение в качестве питательной среды измельченных клубней топинамбура в смеси с пентозанами показало результаты по накоплению биомассы, сравнимые с зерновой бардой. Тем не менее, данный вариант содержит в своем составе большее количество инулина и пищевых волокон (Туршатов с соавт., 2023, 2024), что может компенсировать пониженное (по сравнению со средами 2 и 5) содержание белка в суммарной пищевой ценности и позволяет применять полученный протеиновый продукт для кормовых целей.

Сравнительный анализ аминокислотного состава протеинового кормопродукта, полученных на основе смеси ВСП: крахмал Б + пентозаны в соотношении 1 к 4 и зерновой барды на примере *R. diobovatum Rh. d-1 RCAM 01131* приведен в Таблице 4. Аминокислотный состав протеиновых кормопродуктов, полученных культивированием на питательных средах на основе ВСП, количественно превосходит протеиновый кормопродукт, полученный на зерновой барде, особенно по содержанию лизина, серина, глицина, метионина, лейцина, тирозина. Кроме того, в КЖ продуцента *R. diobovatum Rh. d-1 RCAM 01131* содержится большее количество незаменимых аминокислот чем в промышленном штамме *C. tropicalis CK-4* (Рисунок 4).

Таблица 4 - Аминокислотный состав протеиновых кормопродуктов продуцента *R. diobovatum Rh. d-1 RCAM 01131*, % на а.с.в. \*

Наименование	На ВСП	На зерновой барде
Лизин	2,85±0,09	1,91±0,07
Гистидин	2,29±0,09	1,76±0,12
Аргинин	1,24±0,13 <sup>a</sup>	1,45±0,10 <sup>a</sup>
Аспарагиновая кислота	2,71±0,08	1,84±0,11
<i>Треонин</i>	1,93±0,09	2,28±0,04
Серин	5,12±0,09	3,66±0,09
Глутаминовая кислота	0,97±0,14 <sup>b</sup>	1,26±0,15 <sup>b</sup>
Пролин	2,13±0,09 <sup>c</sup>	2,27±0,10 <sup>c</sup>
Глицин	2,47±0,09	1,33±0,12
Аланин	0,38±0,08 <sup>d</sup>	0,29±0,07 <sup>d</sup>
Цистин	1,55±0,09	1,98±0,05
<i>Валин</i>	0,83±0,08	1,30±0,10
<i>Метионин</i>	1,93±0,12 <sup>e</sup>	1,70±0,13 <sup>e</sup>
<i>Изолейцин</i>	2,17±0,12	2,72±0,13
<i>Лейцин</i>	1,74±0,09	1,40±0,10
Тирозин	2,65±0,12	2,05±0,14
<i>Фенилаланин</i>	1,12±0,07	1,50±0,03
<i>Триптофан</i>	1,77±0,11 <sup>f</sup>	1,67±0,09 <sup>f</sup>

\*Значения, обозначенные одинаковыми буквенными индексами, статистически не различимы, при уровне значимости  $p < 0,05$ .

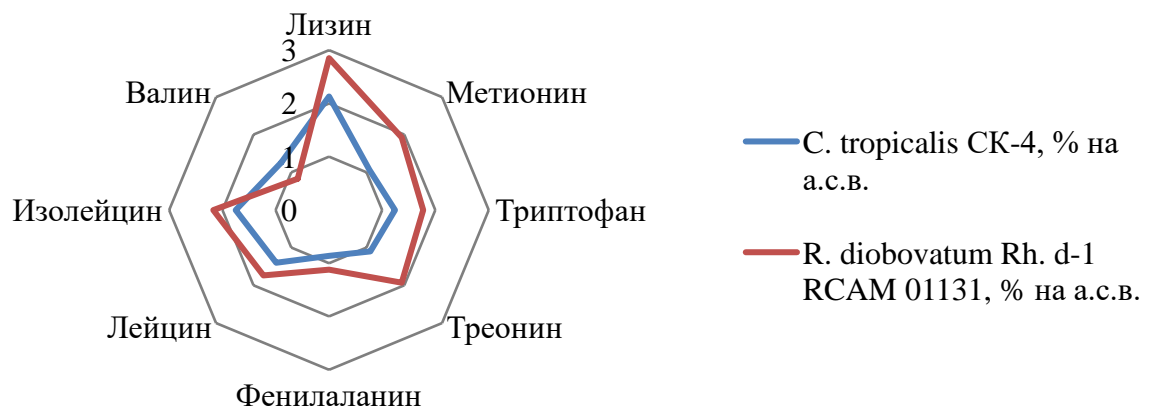


Рисунок 4 - Содержание незаменимых аминокислот в КЖ продуцентов *C. tropicalis* CK-4 и *R. diobovatum* Rh. d-1 RCAM 01131

Витаминный состав протеиновых кормопродуктов, полученных на основе микробной конверсии ВСП комплексной переработки зернового сырья и зерновой барды, на примере *R. diobovatum Rh. d-1 RCAM 01131* приведен на Рисунке 5.

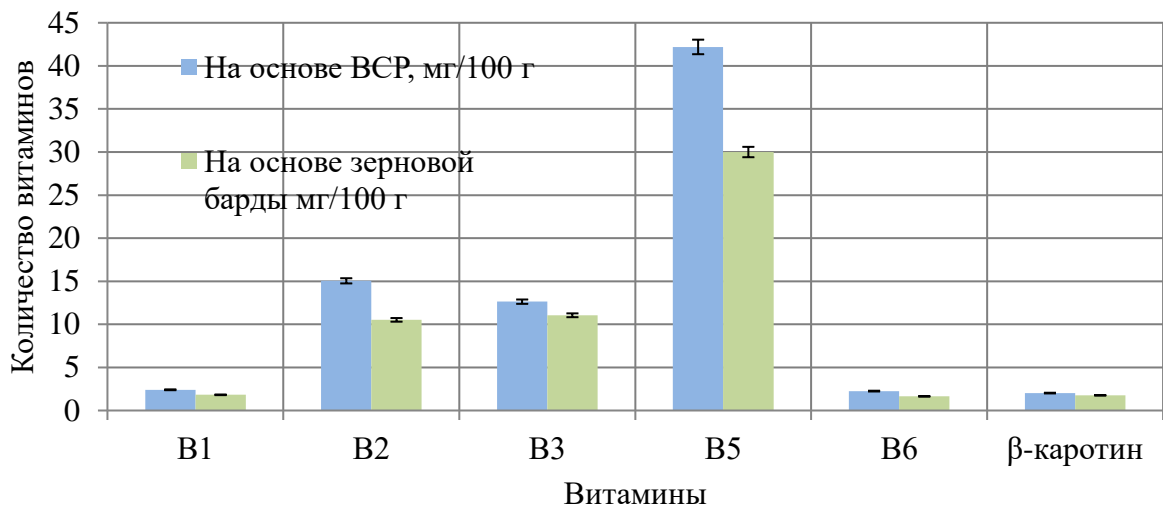


Рисунок 5 - Сравнительный анализ витаминного состава кормовых дрожжей

Установлено, что кормовые дрожжи, полученные на основе питательных сред с использованием ВСП, содержат больше витаминов группы В, чем культивированные на зерновой барде.

Таблица 5 – Характеристика промышленных кормовых дрожжей *C. tropicalis* СК-4 (на зерновой барде) и *R. diobovatum Rh. d-1 RCAM 01131* (на ВСП, среда 2)

Показатели	<i>C. tropicalis</i> СК-4 (по существующей технологии)	<i>R. diobovatum Rh. d-1</i> (по разработанной технологии)
Массовая доля сырого протеина, % на а.с.в.	46,6	49,4
Массовая доля белка по Барнштейну, % на а.с.в.	35,4	40,2
Содержание каротиноидов, мкг/г а.с.в.	-	74,5
Содержание аминокислот, % а.с.в.	32,37	35,85
Внешний вид	от светло-желтого до коричневого, с характерным дрожжевым запахом	
Наличие дрожжевых клеток в 1 г продукта	не допускается	

В ходе культивирования штамма *R. diobovatum Rh. d-1 RCAM 01131* происходит дополнительное накопление β-каротина, продуцентом которого он является [Римарева с соавт., 2017]. Исследования полученных протеиновых кормовых продуктов в сравнении с промышленными аналогами подтвердили перспективность разрабатываемой технологии



производства обогащенных протеиновых кормопродуктов (Таблица 5).

Энергетическая ценность полученных кормовых дрожжей составляет 188,3 ккал, что эквивалентно 1,3 кормовых единиц.

Показано, что для получения протеиновых кормовых продуктов с повышенным содержанием незаменимых аминокислот и витаминов целесообразно использовать разработанные среды 2 и 5: смесь фракций крахмала Б и пентозанов или смесь фракции крахмала Б и зерновой барды в соотношении 1 : 4. Выявлено, что наиболее эффективный синтез белка происходит при использовании штамма *R. diobovatum Rh. d-1 RCAM 01131* с минеральным питанием: 0,2 % карбамид + 0,06 % диаммоний фосфат.

#### 4 Разработка аппаратно-технологической схемы

В результате проведенных исследований определены исходные данные для разработки промышленной технологии получения протеиновых кормопродуктов на основе ВСР зерноперерабатывающих производств и клубней топинамбура (Рисунок 6).

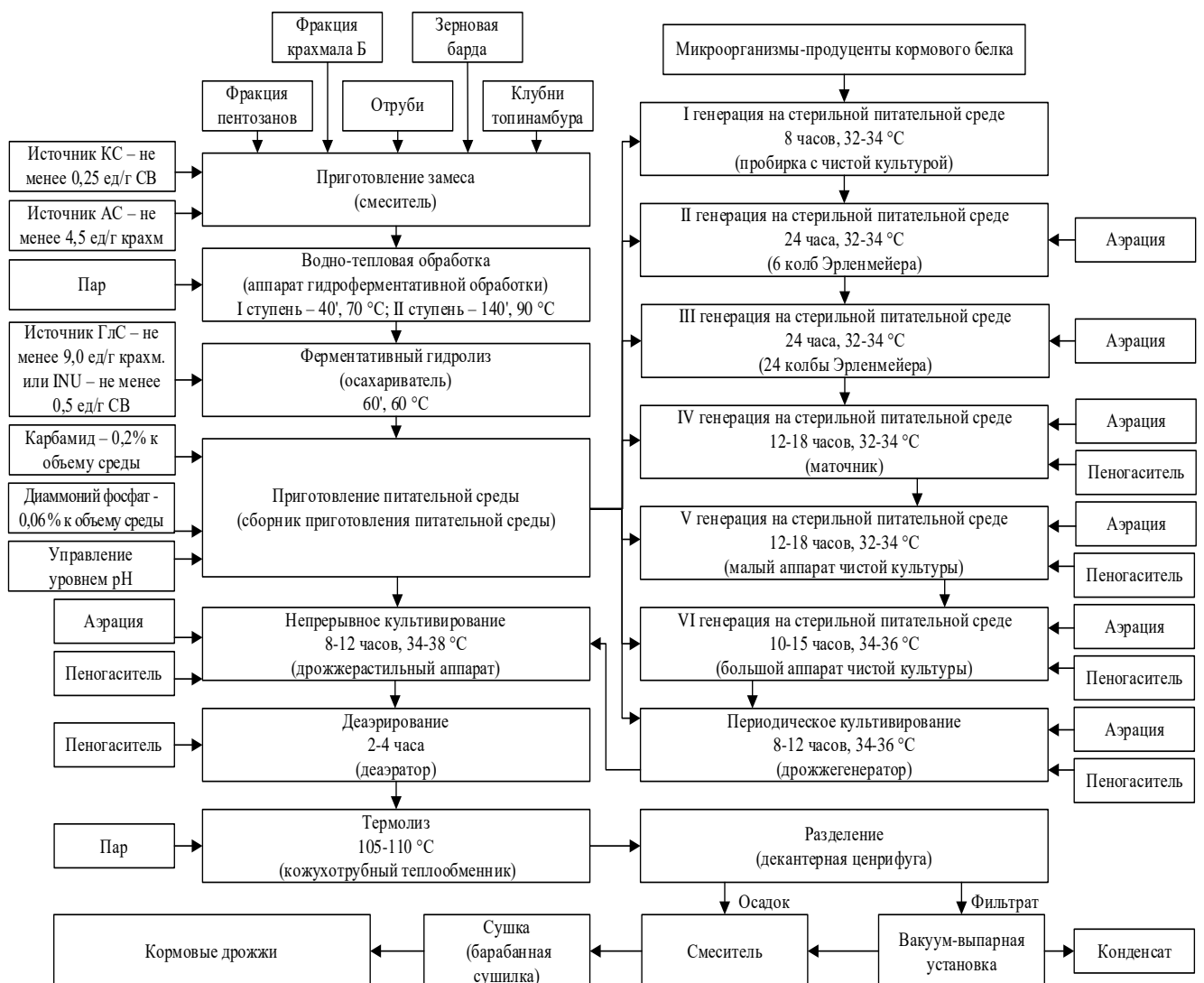


Рисунок 6 – Технология получения протеиновых кормопродуктов

Реализация подобной схемы возможна с минимальными капитальными затратами на дооснащение предприятий, специализирующихся на переработке зернового сырья.

Техноэкономические показатели производства кормовых дрожжей представлены на рисунке 7.

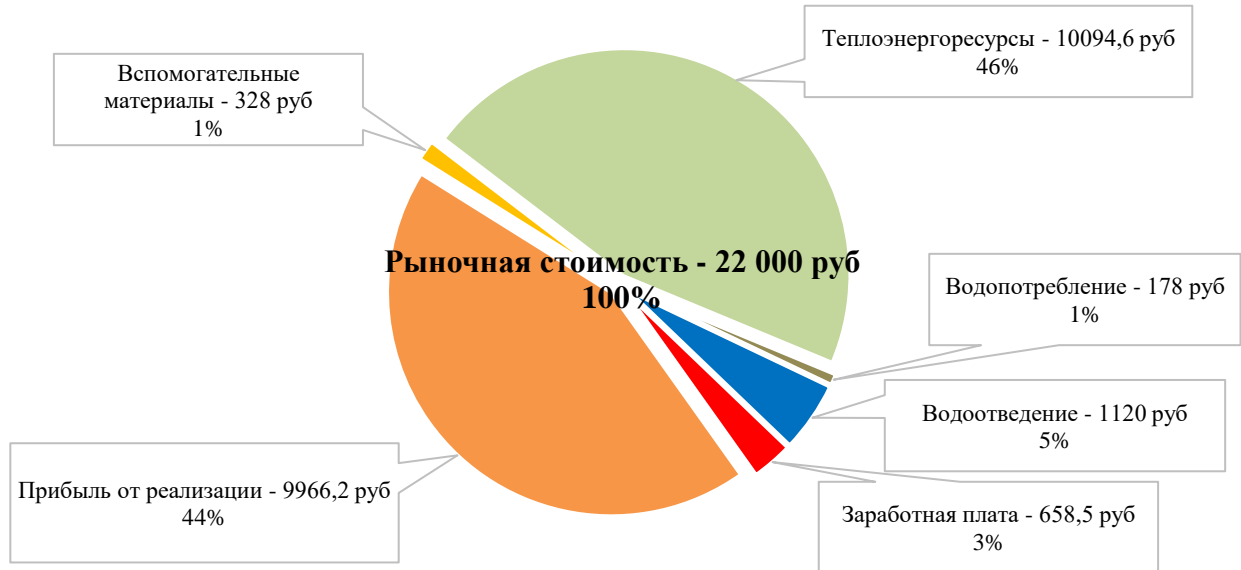


Рисунок 7 - Структура стоимости производства кормовых дрожжей, рублей/тонну кормовых дрожжей

Производственная мощность разработанной технологии по сухим кормовым дрожжам составляет до 50 тонн в сутки и может быть масштабирована при необходимости.

Рентабельность комплексной переработки зерна с получением протеиновых продуктов возрастает на 15 - 20 % (при себестоимости продукта около 12 000 рублей за одну тонну его рыночная цена 20 000 - 25 000 рублей).

Модернизация имеющихся мощностей по глубокой переработке зернового сырья позволит организовать производство качественных кормовых дрожжей в объеме более 500 000 тонн в год. Это позволит снизить дефицит кормового белка на отечественном рынке и создает стабильную основу для его экспорта.

### Основные результаты и выводы

1. Обобщены и систематизированы данные о производстве протеиновой кормопродукции. Приведены статистические данные о современном отечественном рынке кормопродуктов. Рассмотрен механизм метаболизма микроорганизмов-продуцентов кормового белка, выявлены параметры процесса культивирования, обеспечивающие эффективное накопление биомассы.

2. Исследован химический состав ВСП, образующихся при глубокой переработке

зернового сырья (фракции крахмала Б и пентозанов, пшеничных отрубей, зерновой барды) и клубней топинамбура. Установлено, что все сырьевые ресурсы в разной степени удовлетворяют условиям приготовления питательных сред. Количество общих сухих веществ находится в диапазоне от 2,5 до 86,8 %, а содержание белков от 4,11 до 21,3 % на а.с.в., что позволяет использовать данные сырьевые ресурсы для приготовления композиций питательных сред, соответствующих рациональным условиям культивирования.

3. Разработаны и научно обоснованы режимы водно-тепловой обработки сырья с применением мультиэнзимного комплекса в составе: Viscoferm в дозировке 0,25 ед. КС/г сухих веществ и Lp-Нера в дозировке 4,5 ед. АС/г крахмала сырья - для увеличения эффективности экстракции полисахаридов сырья; при гидролизе применяли Saczyme Plus 2X в дозировке 9 ед. ГЛС/г крахмала сырья для ВСР и Novozym 960 в дозировке 0,5 ед. ІNU/г сухих веществ для топинамбура.

4. Разработан рациональный состав питательной среды: фракции крахмала Б и пентозанов в соотношении 1 : 4, в которой содержится: 5,50 г/100 см<sup>3</sup> углеводов, растворимых сухих веществ – 6,7 %, карбамида - 0,2 % к объему среды и 0,06 % к объему среды диаммоний фосфата; такой состав обеспечил необходимую продуктивность выбранных штаммов по содержанию белка в получаемом кормопродукте.

5. Обосновано применение как наиболее перспективных штаммов-продуцентов кормового белка: *Saccharomyces cerevisiae* RCAM 01137 и Y-3585, *Rhodospiridium diobovatum* Rh. d-1 RCAM 01131, *Candida tropicalis* CK-4, которые эффективно ассимилируют углеводы ВСР и клубней топинамбура с интенсивным накоплением биомассы.

6. Определен химический состав полученного по разработанной технологии протеинового кормопродукта на основе ВСР, по содержанию протеина – до 49,4 % на а.с.в., белка (по Барнштейну) – до 40,2 % на а.с.в., аминокислот – лизина (2,85 % на а.с.в.), гистидина (2,29 % на а.с.в.), серина (5,12 % на а.с.в.), витамина В5 – 42,2 мг/100 г, превосходящего аналоги. Его энергетическая ценность составляет 188,3 ккал, что эквивалентно 1,3 кормовых единиц. Протеиновая кормовая продукция, полученная на основе смеси, состоящей из клубней топинамбура и фракции пентозанов содержит до 24,0 % белка (по Барнштейну) на а.с.в. Данный показатель является достаточно низкими в сравнении с другими средами. Однако данная протеиновая кормопродукция богата пищевыми волокнами и инулином, что увеличивает ее кормовую ценность и позволяет применять в качестве кормопродукта.

7. Разработана аппаратурно-технологическая схема получения протеинового кормового продукта из ВСП зерноперерабатывающих предприятий, которая реализована на ООО «Этилацетат» (Воронежская обл.). Мощность цеха производства кормовых дрожжей составляет до 50 тонн в сутки. Установлено, что рентабельность комплексной переработки зерна с получением протеиновых продуктов возрастает на 15 - 20 % (при себестоимости продукта около 12 000 рублей за одну тонну его рыночная цена 20 000 - 25 000 рублей).

### **Список работ, опубликованных по теме диссертации**

#### ***В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:***

1. Абрамова, И. М. Исследование химического состава пищевых ингредиентов, получаемых при переработке топинамбура на спирт / И. М. Абрамова, М. В. Туршатов, **А. О. Соловьев**, В. В. Кононенко, В. Д. Никитенко, Т. В. Юраскина, А. Ю. Шариков // Пищевая промышленность. – 2024. – № 3. – С. 47-51. DOI 10.52653/PPI.2024.3.3.009

2. **Соловьев, А. О.** Изучение реологических свойств замеса при получении спирта из топинамбура / **А. О. Соловьев** // Пищевая промышленность. – 2023. – № 5. – С. 39-41. DOI 10.52653/PPI.2023.5.5.010

3. Туршатов, М. В. Разработка технологии производства кормовых дрожжей при комплексной переработке зернового и углеводсодержащего сырья / М. В. Туршатов, В. А. Кривченко, **А. О. Соловьев** // Пищевая промышленность. – 2019. – № 10. – С. 62-64. DOI 10.24411/0235-2486-2019-10160

4. Кривченко, В. А. Спиртовое производство - технологическая основа комплексной переработки зерна с получением пищевых продуктов / В. А. Кривченко, М. В. Туршатов, **А. О. Соловьев**, И. М. Абрамова // Пищевая промышленность. – 2019. – № 4. – С. 53-54. DOI 10.24411/0235-2486-2019-10027

5. Туршатов, М. В. Технологические основы получения белковых кормопродуктов при переработке крахмалсодержащего сырья в биотехнологическую и химическую продукцию / М. В. Туршатов, В. В. Кононенко, В. П. Леденев, В. А. Кривченко, **А. О. Соловьев**, Н. Д. Моисеева, Т. И. Лозанская, Н. М. Худякова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2018. – № 2. – С. 5-8.

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

6. Абрамова, И. М. Биоконверсия растительного сырья в этиловый спирт и кормопродукты по замкнутому циклу / И. М. Абрамова, М. В. Туршатов, В. А. Кривченко, **А. О. Соловьев**, В. Д. Никитенко // Биотехнология. – 2021. – Т. 37. - № 4. –

C. 106-111. DOI 10.21519/0234-2758-2021-37-4-106-111.

7. Abramova, I. M. Protein feedstuff production based on microbial biomass / I. M. Abramova, **A. O. Soloviev**, M. V. Turshatov, V. A. Krivchenko, V. V. Kononenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2020. – Vol. 548. – p. 082080. DOI 10.1088/1755-1315/548/8/082080

***Сборники, материалы конференций и другие научные издания:***

8. **Соловьев, А. О.** Влияние содержания минерального состава среды культивирования на качественные показатели протеиновых кормовых продуктов / **А. О. Соловьев** // Вопросы питания. – 2023. – Т. 92. - № S5(549). – С. 258-259. DOI 10.33029/0042-8833-2023-92-5s-323

9. Шариков, А. Ю. Применение высоковлажной дисперсной фракции топинамбура, образуемой при его переработке на спирт, в технологии пищевой экструзии / А. Ю. Шариков, М. В. Туршатов, М. В. Амелякина, **А. О. Соловьев**, И. М. Абрамова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2023. – Т. 24. - № 4. – С. 612-622. DOI 10.30766/2072-9081.2023.24.4.612-622

10. Абрамова, И. М. Исследование биохимического состава топинамбура и получаемых на его основе этилового спирта и пищевых функциональных продуктов / И. М. Абрамова, М. В. Туршатов, В. А. Кривченко, **А. О. Соловьев**, В. Д. Никитенко // Биотехнология. – 2022. – Т. 38. - № 4. – С. 56-61. DOI 10.56304/S0234275822040020

11. Туршатов, М. В. Комплексная переработка топинамбура с получением пищевых функциональных продуктов / М. В. Туршатов, **А. О. Соловьев**, Г. С. Волкова, В. Д. Никитенко // Актуальная биотехнология. – 2022. – № 1. – С. 255.

12. Туршатов, М. В. Исследование физико-химических свойств топинамбура с целью его переработки в спирт и пищевые функциональные продукты / М. В. Туршатов, И. М. Абрамова, В. А. Кривченко, **А. О. Соловьев**, В. Д. Никитенко, В. П. Леденев // Материалы международного конгресса «Биотехнология: состояние и перспективы развития». – М. : Общество с ограниченной ответственностью "Экспо-биохим-технологии", 2022. – Вып. 20. – С. 197-199. DOI 10.37747/2312-640X-2022-20-197-199

13. Туршатов, М. В. Исследование технологических особенностей получения этилового спирта из топинамбура / М. В. Туршатов, **А. О. Соловьев**, В. Д. Никитенко // Материалы V Школы молодых ученых с международным участием «Основы здорового питания и пути профилактики алиментарно-зависимых заболеваний». – М. : Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, 2022. – С. 96-

97.

14. Туршатов, М. В. Исследование влияния видов зернового сырья на себестоимость этилового спирта с учетом выпуска дополнительной продукции / М. В. Туршатов, **А. О. Соловьев**, И. М. Абрамова, В. В. Кононенко, В. П. Леденев, В. А. Кривченко, В. Д. Никитенко // Сборник научных трудов Международного научно-практического семинара «Теоретические и практические аспекты развития спиртовой и ликероводочной промышленности». – М. : ООО "Первое экономическое издательство", 2022. – С. 109-116. DOI 10.18334/9785912924460.109-116

15. Абрамова, И. М. Особенности получения белковых кормопродуктов на основе вторичных сырьевых ресурсов / И. М. Абрамова, **А. О. Соловьев**, М. В. Туршатов, В. А. Кривченко, В. Д. Никитенко // Сборник научных трудов Международного научно-практического семинара, посвященного 90-летию института «Перспективные направления совершенствования технологии спирта и спиртных напитков и методы их контроля». – М. : Общество с ограниченной ответственностью "Первое экономическое издательство", 2021. – С. 51-58. DOI 10.18334/9785912924002.51-58

16. Туршатов, М. В. Биотехнологические аспекты комплексной переработки топинамбура в этиловый спирт и пищевую клетчатку / М. В. Туршатов, **А. О. Соловьев**, И. М. Абрамова, В. В. Кононенко, В. Д. Никитенко, Ф. И. Крыщенко, А. Ю. Шариков // Сборник научных трудов Международного научно-практического семинара «Теоретические и практические аспекты развития спиртовой и ликероводочной промышленности». – М. : Общество с ограниченной ответственностью "Первое экономическое издательство", 2022. – С. 101-108. DOI 10.18334/9785912924460.101-108

17. **Соловьев, А. О.** Разработка технологии комплексной переработки зернового и углеводсодержащего сырья с получением кормовых дрожжей / **А. О. Соловьев**, И. М. Абрамова, М. В. Туршатов, В. В. Кононенко, В. А. Кривченко // Сборник научных трудов Международного научно-практического семинара «Перспективные технологии и методы контроля в производстве спирта и спиртных напитков» / Под ред. И. М. Абрамовой, Е. М. Сербы. – М. : Издательский дом «БИБЛИО-ГЛОБУС», 2019. – С. 174-185. DOI 10.18334/9785907063549.174-185

18. **Соловьев, А. О.** Производство биотехнологической продукции при переработке крахмалосодержащего сырья / **А. О. Соловьев** // Вопросы питания. – 2018. – Т. 87. - № S5. – С. 285-286. DOI 10.24411/0042-8833-2018-10396

19. Леденев, В. П. Разработка комплексной технологии микробной биоконверсии возобновляемого растительного сырья в этилацетат и кормопродукты / В. П. Леденев, В. В. Кононенко, М. В. Туршатов, Е. А. Кириллов, В. В. Алексеев, В. А. Кривченко, Н. Д.

Моисеева, **А. О. Соловьев** // Вопросы питания. – 2018. – Т. 87. - № S5. – С. 226-227. DOI 10.24411/0042-8833-2018-10336

20. Туршатов, М. В. Технология переработки растительного крахмалсодержащего сырья на этилацетат и кормопродукты / М. В. Туршатов, **А. О. Соловьев**, В. В. Кононенко, В. П. Леденев, В. А. Кривченко, Н. Д. Моисеева, Е. А. Кириллов // Материалы международного форума «Биотехнология: состояние и перспективы развития». – М. : Общество с ограниченной ответственностью "Русские Экспо Дни Групп", 2018. – Вып. 16. – С. 677-679.

21. **Соловьев, А. О.** Исследования по культивированию кормовых дрожжей на средах, полученных из вторичного сырья от комплексной переработки зерна / **А. О. Соловьев**, М. В. Туршатов // Материалы Всероссийской конференции молодых ученых с международным участием «Актуальные вопросы нутрициологии, биотехнологии и безопасности пищи». – М. : Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, 2017. – С. 229-232.

22. Туршатов, М. В. Получение высококачественных сухих кормопродуктов из ВСР зерноперерабатывающих предприятий / М. В. Туршатов, Н. Д. Моисеева, В. А. Кривченко, **А. О. Соловьев**, В. В. Кононенко, В. П. Леденев // Пиво и напитки. – 2016. – № 1. – С. 22-25.

### Сокращения

ВСР – вторичные сырьевые ресурсы, АПК – агропромышленный комплекс, ВТФО – водно-тепловая и ферментативная обработка, ТУ -технические условия, ПТР – постоянный технологический регламент, СВ – сухие вещества, а.с.в. – абсолютно сухое вещество, КЖ – культуральная жидкость, МЭК – мультиэнзимный комплекс, КС – ксиланаза, АС – амилолитическая активность, ГлС – глюкоамилазная активность, ІNU – инулиназная активность,

### РЕЗЮМЕ

В данной диссертации проведен анализ химического состава вторичных сырьевых ресурсов глубокой переработки зернового сырья и клубней топинамбура. Разработан рациональный режим водно-тепловой и ферментативной обработки сырья, углеводно-минеральный состав питательных сред. Культивирование *Rhodosporidium diobovatum Rh. d-1 RCAM 01131* на питательной среде из смеси крахмала Б и фракции пентозанов в соотношении 1:4, содержащей 0,2 % мочевины и 0,06 % диаммонийфосфата, позволило получить до 40,2 % белка на абсолютно сухое вещество. На основе проведенных исследований разработана технология промышленного производства белковой

кормовой продукции.

### SUMMARY

In this dissertation, an analysis of the chemical composition of secondary raw materials for deep processing of grain raw materials and Jerusalem artichoke tubers was carried out. An optimal regime of water-thermal and enzymatic processing of raw materials, carbohydrate-mineral composition of nutrient media has been developed. Cultivation of *Rhodospiridium diobovatum Rh. d-1 RCAM 01131* on a nutrient medium from a mixture of pentosans fraction and starch B in a ratio of 4:1, containing 0.2 % urea and 0.06 % diammonium phosphate, made it possible to obtain up to 40.2 % protein on an absolutely dry basis. Based on research, a technology for the industrial production of protein feed products has been developed.