

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПИЩЕВЫХ И ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ»**

Объект авторского права

УДК 636.087.24

**СОЛОВЬЁВ  
ВИТАЛИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ**

**ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ  
ИЗБЫТОЧНЫХ ПИВНЫХ ДРОЖЖЕЙ**

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.18.07 – Биотехнология пищевых продуктов и  
биологически активных веществ

Могилев, 2023

Научная работа выполнена в РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»

Научный руководитель

**Моргунова Елена Михайловна,**  
кандидат технических наук, доцент,  
Первый заместитель председателя  
Государственного комитета по  
стандартизации Республики Беларусь

Официальные оппоненты:

**Панасюк Александр Львович,**  
доктор технических наук, профессор, член-  
корреспондент Российской академии наук,  
заслуженный деятель науки РФ, заместитель  
директора по научной работе Федерального  
государственного бюджетного научного  
учреждения «Всероссийский научно-  
исследовательский институт пивоваренной,  
безалкогольной и винодельческой  
промышленности»

**Назарова Юлия Станиславовна,**  
кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры технологии пищевых  
производств Учреждения образования  
«Белорусский государственный универси-  
тет пищевых и химических технологий»

Оппонирующая организация –

Учреждение образования «Белорусский  
государственный технологический универ-  
ситет»

Защита состоится «28» декабря 2023 г. в 12.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.17.01 при учреждении образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий» по адресу: 212027, Республика Беларусь, г. Могилев, пр-т Шмидта, 3, e-mail: [mail@bgut.by](mailto:mail@bgut.by), тел.: +375 222 64-79-14.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий».

Автореферат разослан «27» ноября 2023 г.

Ученый секретарь совета  
по защите диссертаций Д 02.17.01,  
кандидат технических наук, доцент



Т.Д. Самуйленко

## ВВЕДЕНИЕ

В процессе производства пива используются пивные дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*, которые накапливаются при сбраживании пивного сусла. Около 40 % этих дрожжей используют в новых циклах брожения в качестве засевных, а 60 % являются вторичными материальными ресурсами пивоваренного производства – избыточные пивные дрожжи.

В 2017 – 2022 гг. объемы производства пива в Республики Беларусь составляли от 43,5 до 48,5 млн дал в год. При производстве 1000,0 дал пива образуется в среднем 200 дм<sup>3</sup> дрожжей. Таким образом, ежегодно в республике образуется до 6,0 млн литров избыточных пивных дрожжей, подлежащих утилизации.

Проблемой переработки вторичных материальных ресурсов пивоваренного производства занимались такие отечественные и зарубежные ученые как В.А. Домарецкий, Г.А. Ермолаева, А.Л. Панасюк, М.В. Гернет, К.В. Кобелев, В.В. Помазова, А.П. Колпакчи, Б.Н. Федоренко, Т.В. Чичина и др.

Существующие пути утилизации избыточных пивных дрожжей в Республике Беларусь сводятся к термолизу на пивоваренных заводах с последующей реализацией, как правило по невысокой стоимости, сельскохозяйственным предприятиям, либо сторонним организациям с целью сушки для получения сухих пивных дрожжей.

Избыточные пивные дрожжи характеризуются высоким содержанием белка, углеводов, витаминов, пищевых волокон, аминокислот, минеральных веществ, фитостеролов и др. биологически ценных компонентов. Существуют разные пути рациональной переработки пивных дрожжей: производство кормовых добавок; производство добавок для обогащения пищевой продукции; производство биогаза и биотоплива; производство добавок для косметической отрасли; производства добавок, способствующих укреплению иммунной системы и общему улучшению здоровья; применение в сельском хозяйстве в качестве удобрений или для обработки почвы; производство адсорбентов микотоксинов; получение препаратов для интенсификации процесса брожения.

Особый интерес с экономической точки зрения представляет переработка дрожжей с получением адсорбентов микотоксинов, дрожжевых экстрактов и препаратов для интенсификации процесса брожения. В Республике Беларусь данные препараты используются повсеместно в кормовой и пищевой отрасли, но все они импортного производства.

В связи с вышеизложенным, актуальной задачей является разработка научно-практических основ и технологии комплексной переработки избыточных пивных дрожжей, позволяющей получать продукты с высокой биологической ценностью – дрожжевой экстракт и микоадсорбент.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с научными программами (проектами), темами.** Диссертационная работа «Технология комплексной переработки избыточных пивных дрожжей» соответствует приоритетным направлениям фундаментальных и при-

кладных научных исследований Республики Беларусь на 2016 – 2020 гг., утвержденных постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 12.03.2015 № 190 п. 9 «Агропромышленный комплекс и продовольственная безопасность» и приоритетным направлениям научно-технической деятельности в Республике Беларусь, утвержденным Указом Президента Республики Беларусь от 22.04.2015 г. № 166 п. 2 «Агропромышленные технологии и производство: глубокая переработка продукции животноводства, растениеводства и адаптивные системы ее хранения; безотходная переработка побочной и сопряженной продукции мясной, молочной, спиртовой, пивоваренной, солодовой, рыбной и других отраслей пищевой промышленности».

Исследования выполнялись в соответствии с планом НИР РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» по заданию 5.62 «Разработка биохимических и технологических основ получения комплексного аминокислотного продукта путем направленного протеолиза пивных дрожжей» Государственной программы научных исследований «Инновационные технологии в АПК», № гос. регистрации 20141004.

**Цель, задачи, объект и предмет исследования.** Целью данной работы является разработка научно-обоснованной технологии комплексной переработки избыточных пивных дрожжей с получением новых продуктов с высокой биологической ценностью – дрожжевого экстракта и микоадсорбента.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Провести комплексный анализ морфологических и физиологических характеристик избыточных пивных дрожжей, образующихся на отечественных предприятиях, с целью оптимизации их последующей переработки при получении новых продуктов с заданными свойствами.

2. Исследовать процесс гидролиза биомассы избыточных пивных дрожжей и подобрать ферментные препараты с целью разработки критерия эффективности их направленной биотрансформации.

3. Установить закономерности биотрансформации биополимеров дрожжевой клетки при комплексной обработке ферментными препаратами и с применением математического моделирования обосновать оптимальные параметры получения дрожжевого экстракта и микоадсорбента.

4. Исследовать режимы сушки дрожжевого экстракта и микоадсорбента с целью установления рациональных параметров процесса для обеспечения максимального сохранения их биологической ценности.

5. Разработать технологию комплексной переработки избыточных пивных дрожжей с получением новых продуктов, дать оценку биологической ценности полученного дрожжевого экстракта и сорбционной способности нового микоадсорбента, провести опытно-промышленную апробацию и рассчитать экономический эффект от внедрения разработанной технологии.

*Объект исследований* – технология переработки избыточных пивных дрожжей путем направленного ферментативного гидролиза биополимеров дрожжевой клетки с целью получения дрожжевого экстракта и микоадсорбента.

*Предмет исследований* – избыточные пивные дрожжи, ферментные препараты, дрожжевой экстракт и микоадсорбент.

**Научная новизна.** Получены новые данные о направленной биотрансформации дрожжевой биомассы избыточных пивных дрожжей с использованием оптимально подобранных ферментных препаратов, углубляющие и расширяющие способы переработки вторичных материальных ресурсов пивоваренного производства, и позволяющие получать новые продукты – дрожжевой экстракт и микоадсорбент, с высокими биологической ценностью и микосорбционной способностью.

Впервые показана возможность и целесообразность использования для процесса гидролиза биополимеров дрожжей комплекса ферментных препаратов, включающего  $\alpha$ -амилазу, протеазу, глюкоамилазу, липазу, маннаназу и установлена их рациональная дозировка.

Впервые разработан новый критерий оптимальности направленного гидролиза биополимеров избыточных пивных дрожжей, позволяющий достичь уровня накопления растворимых сухих веществ в жидкой фазе дрожжевого гидролизата от 40,0 до 43,5 %.

Получены новые данные о минеральном, витаминном и аминокислотном составе компонентов дрожжевого гидролизата, полученного по оптимальным режимам направленного гидролиза с использованием ферментных препаратов, характеризующие высокую биологическую ценность продуктов, получаемых на основе избыточных пивных дрожжей.

Впервые показана биологическая ценность сухого дрожжевого экстракта, включающая в себя высокое содержание белка, многокомпонентные минеральный, витаминный, аминокислотный составы, и адсорбционная способность микоадсорбента по отношению к высокомолекулярным микотоксинам – охратоксина А, зеараленона, дезоксиниваленола.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Данные влияния ферментных препаратов амилолитического, протеолитического, липолитического и цитолитического спектра действия на деструкцию биополимеров дрожжевой клетки в процессе гидролиза, обеспечивающие накопление в дрожжевом гидролизате растворимых сухих веществ 8,9...9,6 %, аминного азота 67,09...82,25 мг/100 см<sup>3</sup>, редуцирующих сахаров 0,20...0,91 %.

2. Научно обоснованная технология изготовления дрожжевого экстракта и микоадсорбента на основе избыточных пивных дрожжей, включающая: подготовку сырья; обработку избыточных пивных дрожжей бикарбонатом натрия в концентрации 0,2 % продолжительностью 30 мин.; проведение гидролиза по оптимальным режимом: исходная массовая доля сухих веществ дрожжевой суспензии 15 – 20 %; ферментативная обработка в четыре этапа: I этап – при температуре 38 – 40 °С в течение 50 – 80 мин., II этап – при температуре 50 – 52 °С в течение 50 – 80 мин., III этап – при температуре 63 – 65 °С в течение 40 – 70 мин., IV этап – при температуре 75 – 77 °С в течение 50 – 80 мин.; введение на I этапе ферментов и их дозировка в единицах активности на грамм сухих веществ дрожжей:  $\alpha$ -амилаза – 1,0, протеаза – 2,0, глюкоамилаза – 10,0, липаза – 2,0, маннаназа – 10,0; доведение рН дрожжевой суспензии до 4,4 – 5,4; разделе-

ние дрожжевого гидролизата на жидкую и густую фазы; сушку по установленным режимам на распылительной сушилке дрожжевого экстракта и микоадсорбента; упаковку; маркировку; транспортирование и хранение.

3. Адсорбционные свойства нового микоадсорбента по отношению к высокомолекулярным микотоксинам – внесение микоадсорбента в контаминированную микотоксинами среду в дозировке 0,35 %, позволяющее снизить содержание охратоксина А на 43,66 %, зеараленона на 42,62 %, дезоксиниваленола 36,09 %.

4. Показатели биологической ценности сухого дрожжевого экстракта: общее содержание аминокислот 29,5 г/100 г, Са 0,038 г/100 г, Mg 0,4 г/100 г, P 2,4 г/100 г, К 5,3 г/100 г, витаминный состав (PP, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>4</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>7</sub>, B<sub>8</sub>, B<sub>12</sub>).

**Личный вклад соискателя ученой степени.** Основные научные и практические результаты диссертации, положения, выносимые на защиту, разработаны и получены лично соискателем или при его непосредственном участии. Соискателем совместно с руководителем разработаны программа и методика исследований. Диссертантом самостоятельно изучены, обобщены и проанализированы литературные данные по теме диссертационной работы, поставлены и проведены эксперименты, обработаны и проанализированы экспериментальные данные.

В выполнении экспериментальных исследований и промышленных апробаций автору работы оказали помощь сотрудники Республиканского контрольно-испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», специалисты РУП «Институт мясо-молочной промышленности», РУП «Институт почвоведения и агрохимии».

**Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов.** Результаты проведенных исследований были представлены и обсуждены на десяти научных и научно-практических конференциях: XVII международная научно-практическая конференция «Современные технологии в АПК» (г. Гродно, 2014 г.), IX, X, XI Международная научная конференция «Техника и технология пищевых производств» (г. Могилев, 24-25 апреля 2014 г., 23-24 апреля 2015 г., 28–29 апреля 2016 г.), XIII, XIV, XV, XVI Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии в пищевой промышленности» (г. Минск, 1-2 октября 2014 г., 8-9 октября 2015 г., 5-6 октября 2016 г., 5-6 октября 2017 г.), III Международный конгресс «Наука, питание и здоровье» (г. Минск, 24–25 июня 2021 г.).

Получен диплом за 3-е место при обсуждении данной тематики в рамках Республиканского конкурса инновационных проектов 2017 «Лучший молодежный инновационный проект», г. Минск, 22 декабря 2017 г.

Данный проект был представлен в финале конкурса «100 идей для Беларуси». г. Минск, 2-3 марта 2020 г.

Результаты исследований апробированы и внедрены в производство на опытном производстве РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» и в РУП «Институт мясо-молочной промышленности».

**Опубликованность результатов диссертации.** Основные положения и результаты диссертационной работы изложены в 15 печатных работах: из них 4 статьи в рецензируемых научных журналах, включенных в перечень для опубликования результатов диссертационных исследований, 10 работ в сборниках материалов, тезисов и докладов конференций, 1 патент на изобретение. Разработаны и утверждены в установленном порядке: 1 технические условия, 2 технологические инструкции, 1 рекомендации. Общий объем опубликованных материалов по теме в журналах и трудах перечня, установленного ВАК, составляет 2,7 авторских листа.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, перечня условных обозначений, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников, приложений.

Общий объем диссертации составляет 227 страниц, включает 28 рисунков, 43 таблицы, 10 приложений. Список использованных источников включает 177 наименований, публикаций соискателя – 14 наименований.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В **первой главе** содержится аналитический обзор научной и научно-технической отечественной и зарубежной информации, касающейся фенотипической и биохимической характеристики дрожжей, применяемых в пивоваренном производстве.

Рассмотрены ферменты в составе ферментных препаратов, гидролизующие биополимеры растительного и микробного сырья. Показано, что применение ферментных препаратов позволяет интенсифицировать технологические процессы гидролиза биополимеров дрожжевой биомассы.

Детально изучено строение дрожжевой клетки и клеточной стенки дрожжей, что позволило при разработке технологии комплексной переработки дрожжей обоснованно подойти к выбору ферментных препаратов для проведения биотрансформации биополимером дрожжевой клетки.

В результате проведенного патентного поиска и обзора литературных источников изучены способы переработки избыточных пивных дрожжей, с целью получения продуктов, пригодных для использования в пищевых и кормовых целях. Рассмотрены автолизаты и гидролизаты пивных дрожжей, установлено, что они являются перспективными источниками биологически ценных веществ для пищевой и кормовой промышленности.

На основании проведенного анализа литературных данных обоснован выбор объектов исследования, подтверждена актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Во **второй главе** представлен перечень и характеристика объектов и методов исследования, разработана структурная схема исследований, представленная на рисунок 1.

Содержание общего белка определяли по методу Къельдаля, содержание растворимых сухих – рефрактометрическим методом, аминного азота – медным способом.



**Рисунок 1 – Структурная схема исследований**

Определение содержания микотоксинов, аминокислот, витаминов проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на приборе Agilent 1200.

Гидролиз дрожжевой суспензии проводили на лабораторном ферментере. Экспериментальные исследования по сушке проводили на экспериментальной сушильной установке Я23-ОСУ производства РУП «Институт мясо-молочной промышленности».

Для определения оптимальных режимов ведения технологического процесса ферментативного гидролиза биополимеров дрожжевой клетки было проведено планирование полного факторного эксперимента ПФЭ-2<sup>3</sup> с помощью компьютерной системы анализа данных STATISTICA.

При выполнении диссертационной работы применяли общепринятые и специальные физико-химические, микробиологические, инструментальные методы оценки и анализа свойств сырья, материалов, дрожжевого гидролизата, дрожжевого экстракта, клеточных стенок дрожжей. Экспериментальные данные обрабатывали с использованием методов экспериментально-статистического моделирования.

В **третьей главе** приведена характеристика избыточных пивных дрожжей пивоваренных предприятий Республики Беларусь, отмечено, что избыточные пивные дрожжи, образующиеся на всех отечественных пивзаводах, пригодны как сырье в разрабатываемой технологии комплексной переработки.

Приведены исследования по подбору ферментных препаратов для проведения биотрансформации биополимеров дрожжевой клетки. Исследования проводили в три этапа. В первой серии экспериментов изучали специфичность действия ферментов на биополимеры дрожжевой клетки. Ферментные препараты применяли как индивидуально, так и в составе комплексов.

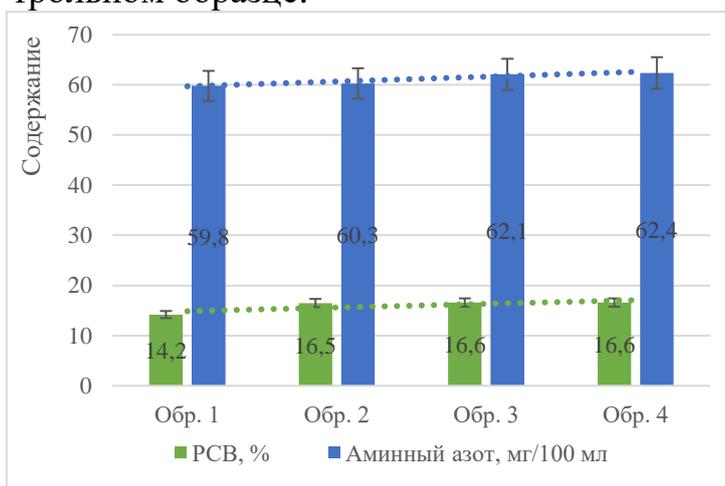
Степень воздействия выбранных ферментных препаратов изучали по накоплению продуктов гидролиза соответствующих биополимеров дрожжей: растворимых сухих веществ, редуцирующих сахаров, аминного азота. Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты эксперимента по гидролизу дрожжевой биомассы ферментами индивидуально и в составе комплексов

№ образца	Наименование фермента (ферментного комплекса)	Наименование показателя		
		РСВ, %	редуцирующие сахара, %	аминный азот, мг/100 см <sup>3</sup>
контроль	-	4,2±0,21	0,20±0,01	11,8±0,59
1	Маннаназ	5,7±0,29	0,23±0,01	13,5±0,67
2	β-глюканаза	4,3±0,22	0,21±0,01	16,7±0,84
3	Протеаза	6,7±0,34	0,22±0,01	29,1±1,45
4	Амилаза	4,5±0,26	0,21±0,01	14,1±0,70
5	Маннаназ-β-глюканаза	8,1±0,41	0,25±0,01	35,5±1,77
6	Маннаназ-протеаза	9,2±0,46	0,30±0,02	40,6±2,03
7	Маннаназ-β-глюканаза-протеаза	11,5±0,58	0,84±0,04	42,5±2,13
8	Маннаназ-β-глюканаза-протеаза-амилаза	13,5±0,68	0,91±0,05	53,1±2,65

Ферментные препараты вносили в начале процесса гидролиза в предварительно инактивированную при 95 °С в течение 5 мин дрожжевую суспензию. Гидролиз вели в течение 24 ч при 55 °С. Концентрация субстрата составляла 17,5 %. Дозировку ферментных препаратов принимали по спецификациям изготовителя, рН корректировали до значения 5,3 ед. рН. В качестве контрольного образца рассматривали аналогичные показатели дрожжевой суспензии, подвергнутой высокотемпературной обработке для инактивации собственных ферментов. По окончании процесса ферментативного гидролиза проводили разделение гидролизата на жидкую и густую фазы, в жидкой фазе контролировали содержание растворимых сухих веществ, редуцирующих сахаров и аминного азота.

Исходя из данных, представленных в таблице 1, установлено, что лучшие результаты по всем показателям получены в результате комбинированного действия комплекса ферментов маннаназы-β-глюканазы-протеазы-амилазы на биополимеры дрожжевой клетки: содержание РСВ в образце № 8 составило 13,5 %, что на 221 % больше по сравнению с контролем; содержание редуцирующих сахаров – 0,91 %, что в 4,5 раз больше, чем в контрольном образце; содержание аминного азота – 57,6 мг/100 см<sup>3</sup>, что также в 4,5 раз больше, чем в контрольном образце.



**Рисунок 2 – Данные по содержанию РСВ и аминного азота в дрожжевом гидролизате в зависимости от дозировки ферментных препаратов**

Во второй серии экспериментов устанавливали рациональную дозировку ферментных препаратов в составе ФК маннаназы-β-глюканазы-протеазы-амилазы, результаты представлены на рисунке 2.

В результате анализа данных, представленных на рисунке 2, установлено, что содержание РСВ увеличивается при увеличении дозировки ферментных препаратов в образце № 2 на 16,2 %. Дальнейшее увеличение дозировки не

приводит к статистически значимому изменению показателя РСВ. Увеличение дозировки ферментных препаратов не привело к статистически значимому изменению показателя аминный азот во всех образцах.

На основании данных, полученных при проведении второй серии исследований, сделан вывод о целесообразности использования для проведения гидролиза биополимеров избыточных пивных дрожжей ферментных препаратов в дозировках в единицах активности на грамм сухих веществ: α-амилаза – 1,0, протеаза – 2,0, β-глюканаза – 12,0, маннаназы – 10,0 при концентрации субстрата 20 %.

В третьей серии экспериментов проводили исследования, направленные на повышение эффективности процесса ферментативного гидролиза биополимеров

дрожжевой клетки за счет применения поэтапной температурной обработки, дополнительного использования ферментных препаратов глюкоамилаза и липаза, а также использования потенциала эндогенных ферментов дрожжевой клетки. Гидролиз биополимеров дрожжей проводили четырьмя комплексами ферментов: ФК-1 ( $\alpha$ -амилаза, протеаза, глюкоамилаза, маннаназа, липаза, эндогенные ферменты дрожжей), ФК-2 ( $\alpha$ -амилаза, протеаза, глюкоамилаза, маннаназа), ФК-3 ( $\alpha$ -амилаза, протеаза, глюкоамилаза, маннаназа, липаза), ФК-4 ( $\alpha$ -амилаза, протеаза, глюкоамилаза, маннаназа, липаза,  $\beta$ -глюканаза).

Воздействия выбранных ферментных комплексов на дрожжевую клетку изучали по накоплению продуктов гидролиза биополимеров дрожжей: РСВ, редуцирующих сахаров, аминного азота. Степень высвобождения клеточных стенок дрожжей от белков и углеводов исследовали по количеству образующейся в процессе гидролиза избыточных пивных дрожжей густой фазы.

В результате эксперимента получены новые данные, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты исследований по повышению эффективности ферментативного гидролиза биополимеров дрожжевой клетки

ФК	Значение показателя для					
	гидролизат дрожжей				густая фаза (клеточные стенки)	
	масса, г	РСВ, %	редуцирующие сахара, %	аминный азот, мг/дм <sup>3</sup>	масса, г	СВ, %
ФК-1	780	9,6±0,48	0,38±0,02	82,25±4,11	275,7±13,79	32,5±1,63
ФК-2	780	8,9±0,45	0,93±0,05	76,15±3,81	264,5±13,23	35,9±1,80
ФК-3	780	9,1±0,46	0,93±0,05	67,09±3,35	261,8±13,09	35,9±1,80
ФК-4	780	9,0±0,45	0,93±0,05	68,31±3,42	264,3±13,22	36,5±1,83

Анализ данных, представленных в таблице 2, позволил сделать вывод, что лучшие результаты по накоплению аминного азота (82,25 мг/100 см<sup>3</sup>), по накоплению растворимых сухих веществ (9,6 %) и по образованию густой фазы по сухому веществу получены в результате действия ФК-1 ( $\alpha$ -амилаза-протеаза-глюкоамилаза-липаза-маннаназа-эндогенные ферменты дрожжей), что объясняется дополнительным воздействием на биополимеры дрожжевой клетки эндогенных ферментов дрожжей. При этом более низкое содержание редуцирующих сахаров по сравнению с другими образцами – 0,38 %, говорит о меньшей деструкции  $\beta$ -глюканов клеточной стенки дрожжей и объясняется отсутствием в составе ФК-1 фермента  $\beta$ -глюканаза.

Введение в процесс гидролиза в составе ФК-4  $\beta$ -глюканазы не способствовало статистически значимому увеличению накопления растворимых сухих веществ по сравнению с другими образцами. Это объясняется тем, что фермент  $\beta$ -глюканаза специфичен для гидролиза  $\beta$ -глюкановых связей в молекулах  $\beta$ -глюкана, которые находятся вне клеточной стенки дрожжей. Он разрушает связи между молекулами  $\beta$ -глюкана, которые не защищены другими компонентами

клеточной стенки. Таким образом, использование  $\beta$ -глюканазы для гидролиза биополимеров дрожжевой клетки нецелесообразно.

Проведена оптимизация ферментативной деструкции дрожжей путем планирования полного факторного эксперимента ПФЭ-2<sup>3</sup>. При планировании эксперимента в качестве основных факторов, влияющих на процесс гидролиза, были выбраны: активная кислотность, массовая доля сухих веществ дрожжевой суспензии, общая продолжительность процесса гидролиза.

Пределы варьирования факторов были установлены на основании анализа литературных данных и рабочих диапазонов действия используемых ферментов, а также с учетом данных, полученных при проведении однофакторных экспериментов. Изменение рН обеспечивалось подкислением молочной кислотой. Массовая доля сухих веществ дрожжевой суспензии регулировалась степенью разбавления дрожжевой суспензии дистиллированной водой, время гидролиза – продолжительностью температурного воздействия на гидролизуемую дрожжевую суспензию за счет увеличения продолжительности каждого из четырех этапов ферментативного гидролиза

В качестве критерия оценки (параметр оптимизации) влияния выбранных факторов на глубину прохождения процесса ферментативного гидролиза биополимеров дрожжевых клеток был предложен критерий оптимальности – накопление растворимых сухих веществ в дрожжевом гидролизате ( $Y$ , %), который рассчитывали по формуле:

$$Y = \frac{PCB}{CB} \cdot 100, \% \quad (1)$$

где  $PCB$  – содержание растворимых сухих веществ в дрожжевом гидролизате, г;

$CB$  – общее содержание сухих веществ в дрожжевом гидролизате, г.

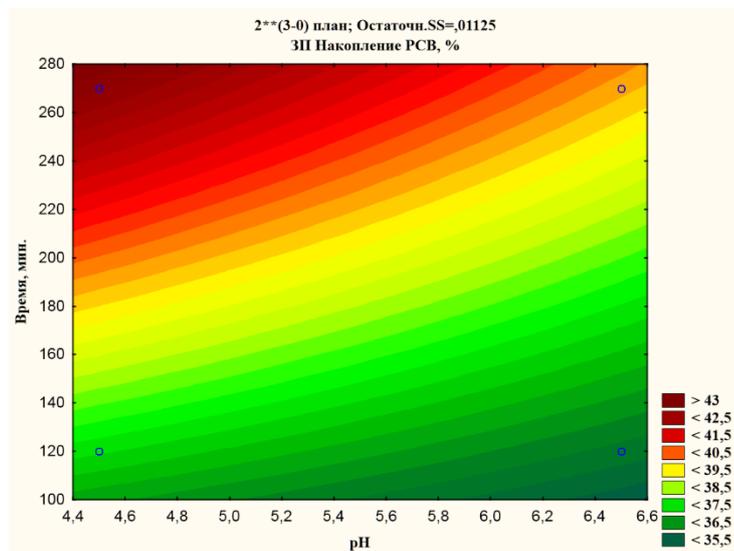
В результате математической обработки данных получено уравнение регрессии, которое позволяет предсказать значение функции отклика для заданных условий эксперимента и дает информацию о форме поверхности отклика:

$$Y = 38,96 - 1,09 \cdot x_1 - 0,24 \cdot x_2 \quad (2)$$

Работоспособность модели подтверждается высоким коэффициентом детерминации  $R_{KB} = 99,98$  %. Дисперсия воспроизводимости при этом составляет  $S^2_{вос} = 0,01125$ .

Влияние каждого из варьируемых факторов графически отражали в виде стандартизированной карты Парето и графика главных эффектов отклика. По степени значимости влияние факторов распределилось в следующем порядке: наибольший эффект на накопления растворимых сухих веществ в дрожжевом гидролизате оказывает продолжительность процесса гидролиза, с ее увеличением накопление растворимых сухих веществ в жидкой фазе дрожжевого гидролизата повышается; второе по значимости влияние оказывает активная кислотность (рН) дрожжевой суспензии, при этом имеет место обратная зависимость – при понижении активной кислотности накопление растворимых сухих веществ в жидкой фазе дрожжевого гидролизата повышается. Влияние массовой доли сухих веществ дрожжевой суспензии в исследуемых пределах варьирования являлось статически незначимым.

Для детального рассмотрения графических зависимостей функции отклика от варьируемых факторов и установления оптимальной продолжительности процесса гидролиза биополимеров дрожжевой клетки был изучен контурный график поверхности отклика, представленный на рисунке 3.

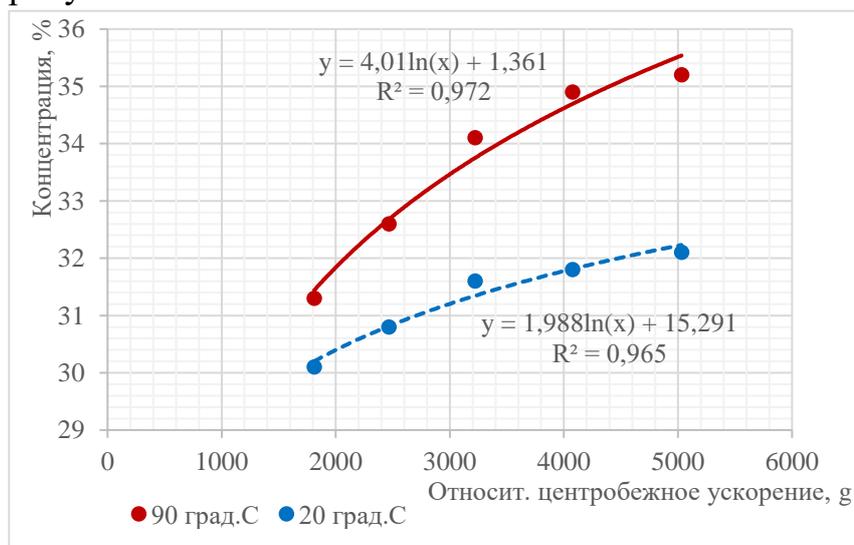


**Рисунок 3 – Контурный график поверхности отклика для показателя накопление РСВ при СВ = 18**

Анализ данного контурного графика поверхности отклика позволил установить, что в области рН 4,4...5,4 поверхность отклика к 240...260 мин выравнивается, дальнейшее увеличение продолжительности процесса гидролиза не приводит к значительному увеличению уровня накопления растворимых сухих веществ. Таким образом, были установлены области значения факторов, при которых наблюдаются лучшие результаты по глубине протекания процесса гидролиза биополимеров дрожжевой

клетки. Определено рациональное значение массовой концентрации сухих веществ дрожжевой суспензии – 16...20 %, при котором через 240...260 мин обработки при рН 4,4...5,4 достигается стабильно высокий уровень накопления РСВ в жидкой фазе дрожжевого гидролизата 40,0...43,5 %.

Проведены исследования по фазовому разделению гидролизата дрожжей на жидкую и густую фазы. Получен график эффективности процесса сепарирования гидролизата дрожжей в зависимости от относительного центробежного ускорения при температурах гидролизата 20 и 90 °С, представленный на рисунке 4.



**Рисунок 4 – Эффективность процесса сепарирования в зависимости от относительного центробежного ускорения при температурах гидролизата дрожжей 20 и 90 °С**

В результате эксперимента установлено, что повышение температуры гидролизата избыточных пивных дрожжей с 20 до 90 °С приводит к увеличению массовой доли сухих веществ в жидкой фазе с 32,1 % до 35,2 % при относительном центробежном ускорении сепаратора RCF=5031g (частота

вращения барабана сепаратора 10000 мин<sup>-1</sup>).

Проведены исследования по установлению рациональных параметров сушки продуктов гидролиза избыточных пивных дрожжей на распылительной сушилке. С целью исследования влияния температурных режимов на изменение свойств и состава продуктов гидролиза избыточных пивных дрожжей в процессе сушки, проведены исследования дрожжевого экстракта до проведения процесса сушки и после по витаминному и аминокислотному составу.

Разработаны рациональные параметры сушки дрожжевого экстракта и микоадсорбента на распылительной сушилке: температура воздуха на входе в сушильную камеру – 175...185 °С, на выходе из сушильной камеры – 70...80 °С; массовая доля сухих веществ поступающих на сушку продуктов – 15...20 %; температура поступающих на сушку продуктов – 65...85 °С.

В четвертой главе Разработана технология комплексной переработки избыточных пивных дрожжей, представленная в виде схемы на рисунке 5.

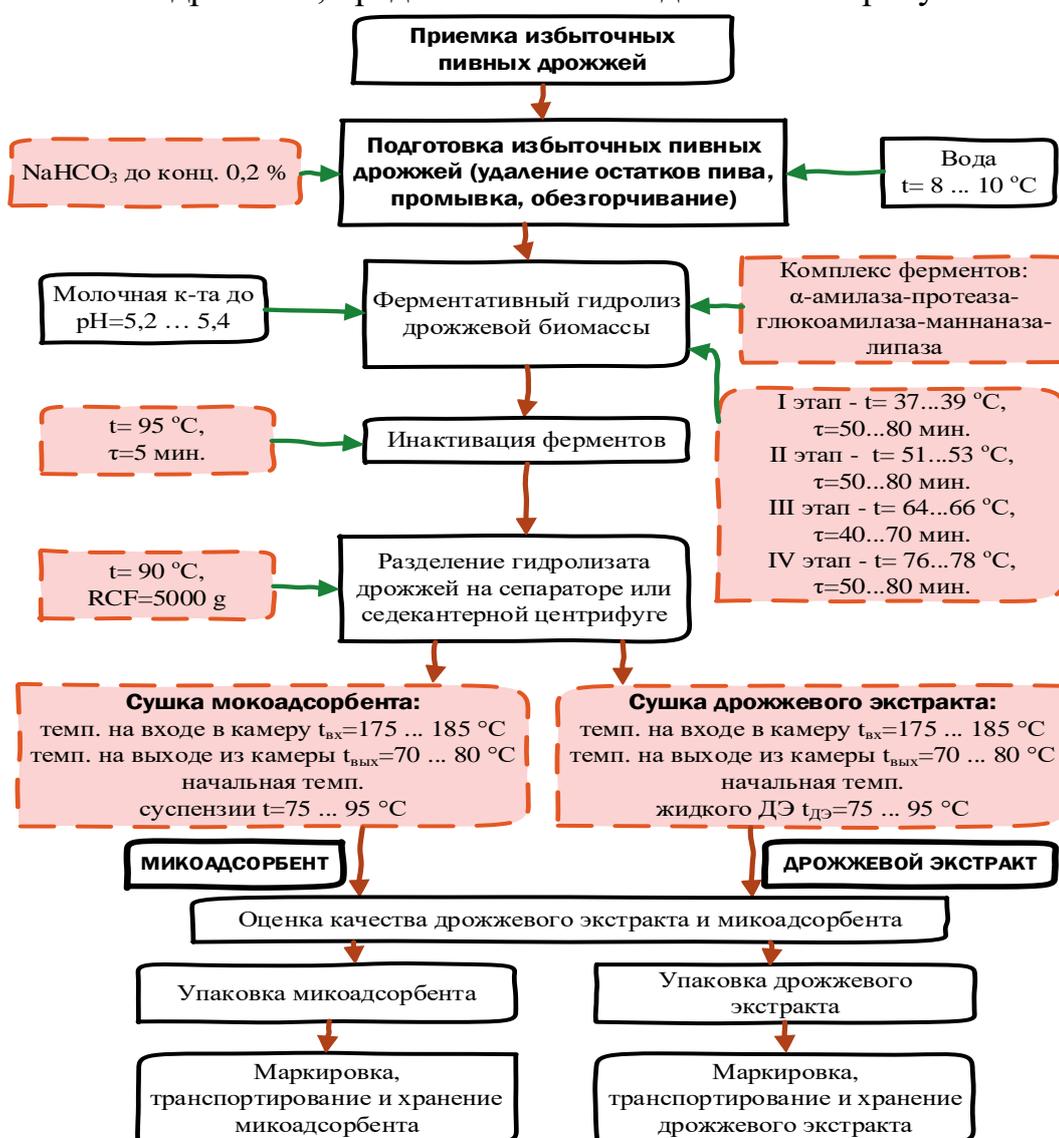
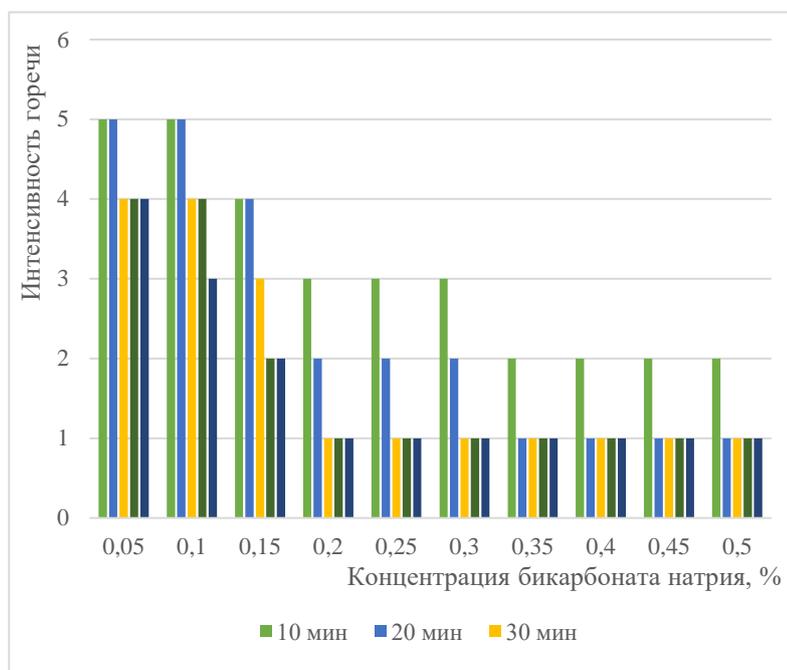


Рисунок 5 – Технологическая схема комплексной переработки избыточных пивных дрожжей

Определены рациональные параметры обезгорчивания избыточных пивных дрожжей, проведены исследования адсорбции микотоксинов микоадсорбентом, приведены практические рекомендации применения дрожжевого экстракта, разработаны технические условия на дрожжевой экстракт, рассчитана ожидаемая экономическая эффективность внедрения технологии комплексной переработки избыточных пивных дрожжей.

Для определения рациональных параметров обезгорчивания избыточные пивные дрожжи обрабатывали бикарбонатом натрия в концентрациях от 0,05 до 0,5 % с шагом 0,05 %.



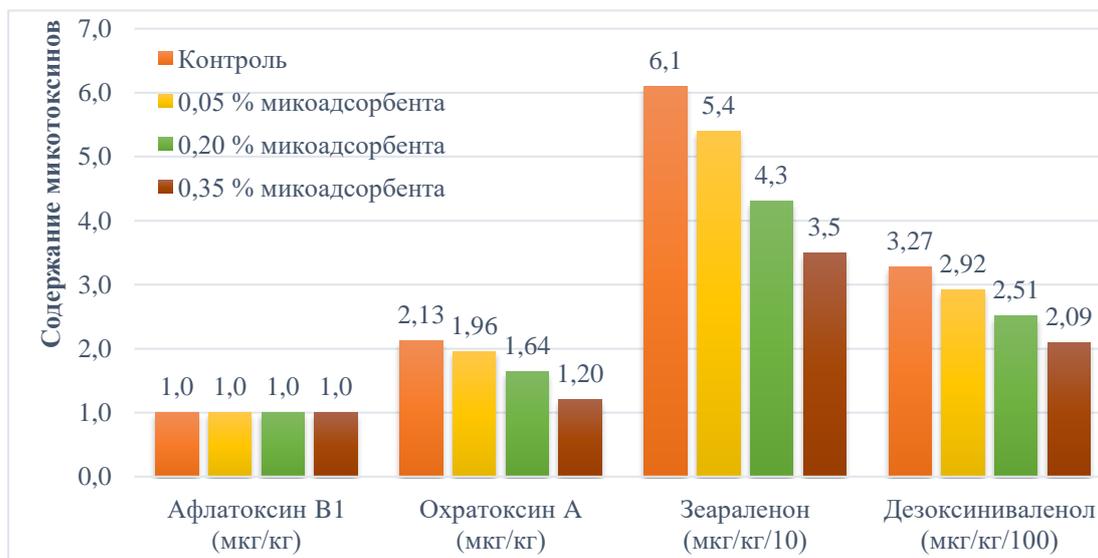
0,5 % с шагом 0,05 %. Время обработки от 10 до 50 мин с шагом 10 мин. Эффективность прохождения обезгорчивания определена органолептически с использованием балльной оценки. Результаты эксперимента представлены на рисунке 6.

В результате эксперимента установлены рациональные параметры обезгорчивания избыточных пивных дрожжей: 30 мин при концентрации бикарбоната натрия 0,20 %.

**Рисунок 6 – Экспериментальные данные по определению рациональных параметров обезгорчивания**

Исследование адсорбционной способности микоадсорбента проводили с использованием референтного образца мультитоксинов – кукурузная мука, естественно контаминированная микотоксинами. Результаты исследования представлены на рисунке 7.

Исследование адсорбционной способности микоадсорбента проводили с использованием референтного образца мультитоксинов – кукурузная мука, естественно контаминированная микотоксинами. Результаты исследования представлены на рисунке 7.



**Рисунок 7 – Результат исследования адсорбционной способности микоадсорбента**

Анализ данных, представленных на рисунке 7, позволил сделать вывод, что внесение микоадсорбента в контаминированную микотоксинами среду в дозировке 0,35 % позволяет снизить содержание охратоксина А на 43,66 %, зеараленона на 42,62 %, дезоксиниваленола на 36,09 % и не снижает содержание афлатоксина В<sub>1</sub>.

В результате исследований адсорбционной способности микоадсорбента установлено, что он обладает высокой адсорбционной способностью к высокомолекулярным микотоксинам (охратоксин А, зеараленон, дезоксиниваленол) и не адсорбирует низкомолекулярный микотоксин – афлатоксин В<sub>1</sub>.

Полученные сухие продукты технологии комплексной переработки дрожжей (дрожжевой экстракт и микоадсорбент) исследовали по органолептическим и физико-химическим показателям, по витаминному, аминокислотному и минеральному составу.

В результате определения органолептических характеристик дрожжевого экстракта установлено, что он является натуральным усилителем вкуса за счет наличия вкуса умами, что объясняется наличием в нем высокого содержания глутаминовой кислоты и аргинина, которое составляет 4,61 % и 1,43 % соответственно.

Результаты исследований физико-химических показателей и биологической ценности дрожжевого экстракта представлены в таблицах 3 – 4.

Таблица 3 – Физико-химические показатели дрожжевого экстракта

Наименование показателя	Значение показателя
Массовая доля влаги, %	7,9 – 9,2
Массовая доля белка, %	32,1 – 32,6
Массовая доля углеводов, %	26,0 – 35,0
Массовая доля жира, %	4,1 – 6,2

В результате анализа физико-химических показателей дрожжевого экстракта установлено, что он является источником белка – содержание белка в 100 г дрожжевого экстракта составляет 42,7...43,5 % от средней суточной потребности человека.

Таблица 4 – Показатели биологической ценности сухого дрожжевого экстракта

Наименование	Значение, мг/100 г	Наименование	Значение, мг/100 г
Аспарагиновая к-та	3377,8 ± 743,1	Метионин	246,3 ± 54,2
Глутаминовая к-та	4606,4 ± 1013,4	Изолейцин	1122,6 ± 247,0
Серин	1632,9 ± 359,2	Лейцин	2345,2 ± 515,9
Треонин	1512,2 ± 332,7	Фенилаланин	1250,4 ± 275,1
Глицин	1666,0 ± 366,5	Цистеин	225,0 ± 49,5

Продолжение таблицы 4

Наименование	Значение, мг/100 г	Наименование	Значение, мг/100 г
Аланин	2103,1 ± 462,7	Лизин	2147,5 ± 472,4
Аргинин	1433,9 ± 315,4	Гистидин	1187,6 ± 261,3
Пролин	2204,6 ± 485,0	Тирозин	1001,4 ± 220,3
Валин	1443,2 ± 317,5	Итого аминокислот:	29506,1 ± 6491,3
Кальций (Ca)	37,64 ± 5,6	Фосфор (P)	2419,78 ± 343,61
Магний (Mg)	403,32 ± 40,3	Калий (K)	5379,29 ± 537,93
Тиамин (B <sub>1</sub> )	0,055 ± 0,012	Биотин (B <sub>7</sub> )	0,00034 ± 0,00006
Рибофлавин (B <sub>2</sub> )	1,04 ± 0,15	Инозит (B <sub>8</sub> )	2,52 ± 0,37
Холин (B <sub>4</sub> )	366,5 ± 26,8	PP	11,3 ± 3,39
Пантотеновая кислота (B <sub>5</sub> )	11,8 ± 2,7	Цианокобаламин (B <sub>12</sub> )	0,0003 ± 0,00004
Пиридоксин (B <sub>6</sub> )	1,316 ± 0,21		

Анализ данных, представленных в таблице 4, позволил сделать вывод, что дрожжевой экстракт является естественным источником получения минеральных веществ, свободных аминокислот (в том числе незаменимых) и витаминов группы «В». Так, содержание кальция в 100 г дрожжевого экстракта составляет  $21,1 \pm 14,9$  %, магния –  $100,0 \pm 10,0$  %, фосфора –  $302 \pm 14,2$  %, калия –  $153,7 \pm 10,0$  % от средней суточной потребности человека. Содержание витаминов группы «В» в 100 г дрожжевого экстракта составляет: B<sub>1</sub> –  $3,9 \pm 21,5$  %, B<sub>2</sub> –  $65 \pm 14,0$  %, B<sub>5</sub> –  $196,6 \pm 23,0$  %, B<sub>6</sub> –  $65,8 \pm 16,0$  %, B<sub>12</sub> –  $34 \pm 14,6$  % от средней суточной потребности человека.

Проведен расчет ожидаемой экономической эффективности внедрения технологии комплексной переработки избыточных пивных дрожжей. Объем инвестиций в реализацию технологии комплексной переработки избыточных пивных дрожжей 12,0 млн. руб. на предприятии с режимом работы в 2 смены, перерабатывающем 6,0 млн. л/год избыточных пивных дрожжей, окупится за 3,1 года. Ожидаемый экономический эффект от внедрения предлагаемой технологии комплексной переработки избыточных пивных дрожжей в Республике Беларусь составит 9 357 600,0 руб. товарной продукции в ценах, действующих на декабрь 2022 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Проведен сравнительный анализ морфологических и физиологических характеристик избыточных пивных дрожжей, получаемых на отечественных предприятиях. Установлен оптимальный комплекс ферментных препаратов различного спектра действия, обеспечивающих высокоэффективный гидролиз био-

полимеров дрожжевой клетки:  $\alpha$ -амилаза-протеаза-глюкоамилаза-маннаназа-липаза в соотношении 1 : 2 : 10 : 10 : 2, что позволило накопить в дрожжевом гидролизате: аминный азот в количестве 82,25 мг/100 см<sup>3</sup>, РСВ – 9,6 %, редуцирующих сахаров 0,91 % [1-А, 3-А, 7-А].

2. Впервые научно обоснованы условия ведения процесса гидролиза дрожжевой суспензии с массовой долей сухих веществ 15 ... 20 % в четыре этапа: I этап – при температуре 38...40 °С в течение 50...80 минут, II этап – при температуре 50...52 °С в течение 50...80 минут, III этап – при температуре 63...65 °С в течение 40...70 минут, IV этап – при температуре 75...77 °С в течение 50...80 минут; введение на I этапе ферментов и их дозировка в единицах активности на грамм сухих веществ дрожжей:  $\alpha$ -амилаза – 1,0, протеаза – 2,0, глюкоамилаза – 10,0, липаза – 2,0, маннаназа – 10,0; доведение рН дрожжевой до 4,4...5,4, которые позволяют получить дрожжевой экстракт со следующим составом: содержание аминокислот 29,5 г/100 г, Са 0,038 г/100 г, Mg 0,4 г/100 г, P 2,4 г/100 г, К 5,3 г/100 г, витаминов группы В [3-А, 4-А, 5-А, 11-А, 15-А].

3. В результате проведенных исследований разработаны рациональные параметры сушки продуктов гидролиза пивных дрожжей на распылительной сушилке: температура воздуха на входе в сушильную камеру 175...185 °С, на выходе из сушильной камеры 70...80 °С; массовая доля сухих веществ поступающих на сушку продуктов 15...20 %; температура поступающих на сушку продуктов 65...85 °С, обеспечивающие сохранение биологической ценности сухого дрожжевого экстракта и микоадсорбента [3-А, 5-А, 12-А, 13-А, 15-А].

4. Разработана технология комплексной переработки избыточных пивных дрожжей в дрожжевой экстракт и микоадсорбент, обеспечивающая экологический и экономический аспекты переработки избыточных пивных дрожжей. Разработанная технология включает: подготовку сырья; обработку избыточных пивных дрожжей бикарбонатом натрия в концентрации 0,2 % продолжительностью 30 мин.; использование для гидролиза ферментного комплекса  $\alpha$ -амилаза-протеаза-глюкоамилаза-липаза-маннаназа; массовая доля сухих веществ дрожжевой суспензии 15...20 %; поэтапная ферментативная обработка: I этап – при температуре 38 ...40 °С в течение 50...80 минут, II этап – при температуре 50...52 °С в течение 50...80 минут, III этап – при температуре 63...65 °С в течение 40...70 минут, IV этап: при температуре 75...77 °С в течение 50...80 минут; сушку продуктов гидролиза на распылительной сушилке по следующим режимам: температура воздуха на входе в сушильную камеру 175...185 °С, на выходе из сушильной камеры 70...80 °С; массовая доля сухих веществ поступающих на сушку продуктов 15...20 %; температура поступающих на сушку продуктов 75...95 °С [3-А, 4-А, 8-А, 10-А, 17-А, 18-А].

5. В результате исследований адсорбционной способности клеточных стенок дрожжей установлено, что их внесение в контаминированную микотоксинами среду в дозировке 0,35 % позволяет снизить содержание охратоксина А на 43,66 %, зеараленона на 42,62 %, дезоксиниваленола на 36,09 %. Полученные данные позволяют аргументированно рекомендовать микоадсорбент в качестве добавки при изготовлении кормов [3-А, 5-А, 14-А].

6. В результате проведенных исследований установлены показатели биологической ценности дрожжевого экстракта: содержание кальция в 100 г дрожжевого экстракта  $21,1 \pm 14,9$  %, магния –  $100,0 \pm 10,0$  %, фосфора –  $302 \pm 14,2$  %, калия –  $153,7 \pm 10,0$  % от средней суточной потребности человека. Содержание витаминов группы «В» в 100 г дрожжевого экстракта: В<sub>1</sub> –  $3,9 \pm 21,5$  %, В<sub>2</sub> –  $65 \pm 14,0$  %, В<sub>5</sub> –  $196,6 \pm 23,0$  %, В<sub>6</sub> –  $65,8 \pm 16,0$  %, В<sub>12</sub> –  $34 \pm 14,6$  % от средней суточной потребности человека. Общее содержание белка в 100 г дрожжевого экстракта  $42,7...43,5$  % от средней суточной потребности человека [4-А, 6-А].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

Впервые в республике разработана научно и экономически обоснованная технология комплексной переработки избыточных пивных дрожжей, позволяющая получать продукты с высокой добавленной стоимостью – дрожжевой экстракт и микоадсорбент.

Разработана технологическая документация: ТУ ВУ 190239501.923-2021 «Экстракт дрожжевой», ТИ ВУ 190239501.4.647-2021 «Технологическая инструкция по производству дрожжевого экстракта на основе гидролизата избыточных пивных дрожжей», ТИ ВУ 190239501.4.662-2021 «Технологическая инструкция по производству адсорбента микотоксинов на основе клеточных стенок дрожжей» [16-А, 17-А, 18-А].

Разработаны «Рекомендации по общим техническим требованиям и применению дрожжевого экстракта на основе избыточных пивных дрожжей» [19-А].

Совместно с РУП «Институт почвоведения и агрохимии» проведены агрохимические испытания эффективности комплексных удобрений с добавками экстракта дрожжевого в полевых опытах в течение 2020–2021 гг. на загрязненной радионуклидами дерново-подзолистой связносупесчаной почве в ОАО «Хальч» Ветковского района Гомельской области при возделывании озимых (пшеница) и яровых зерновых (ячмень, овес) культур.

Предложенная технология апробирована на опытно-технологическом производстве РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по продовольствию» и в РУП «Институт мясо-молочной промышленности».

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

### Статьи в научных рецензируемых изданиях из перечня, установленного ВАК

1–А. **Соловьёв, В. В.** Направленный гидролиз биополимеров дрожжевой клетки с целью рациональной утилизации избыточных пивных дрожжей / **В. В. Соловьёв**, Е. М. Моргунова // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2017. – № 3 (37). – С. 49–53.

2–А. **Соловьёв, В. В.** Ферментативный гидролиз и сепарирование избыточных пивных дрожжей для получения продуктов пищевого и кормового назначения / **В. В. Соловьёв**, Е. М. Моргунова // Вестник Могилевского государственного университета продовольствия. – 2019. – № 2 (27). – С. 68–78.

3–А. Моргунова, Е. М. Клеточные стенки дрожжей – эффективный адсорбент микотоксинов в кормах / Е. М. Моргунова, **В. В. Соловьёв** // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2022. – № 2 (56). – С. 36–44.

4–А. **Соловьёв, В. В.** Оптимизация ферментативной обработки в технологии комплексной переработки дрожжей // Пищевая промышленность. – 2022. – № 7. – С. 29–33.

### Статьи в сборниках материалов конференций

5–А. **Solovyov V. V.** Yeast cell walls adsorption capacity / **V. V. Solovyov**, A. M. Marhunova, O. L. Permiakova, T. V. Voblikova, Yu. O. Semenova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 613 (2020) 012143, The International Scientific and Practical Conference Biotechnology in the Agro-Industrial Complex and Sustainable Environmental Management 22 October 2020, Veliky Novgorod, Russian Federation, doi:10.1088/1755-1315/613/1/012143.

6–А. **Соловьёв, В. В.** Показатели качества и безопасности дрожжевого экстракта из гидролизата пивных дрожжей / **В. В. Соловьёв**, Е. М. Моргунова // Наука, питание и здоровье: сб. науч. тр. В 2 ч. Ч. 1 / под общ. ред. З. В. Ловкиса / Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по продовольствию. – Минск: Беларуская навука, 2021. – С 282–294.

### Тезисы докладов

7–А. **Соловьёв, В. В.** Направленный гидролиз биополимеров дрожжевой клетки с целью рациональной утилизации избыточных пивных дрожжей / **В. В. Соловьёв**, Е. М. Моргунова // Материалы IX-й Международной науч. конф. «Техника и технология пищевых производств» (Могилев, 24 – 25 апреля 2014 г.). – Могилев, 2014 – С. 46.

8–А. **Соловьёв, В. В.** Технология утилизации избыточных пивных дрожжей путем их ферментативного гидролиза / Е. М. Моргунова, **В. В. Соловьёв** // Материалы XVII Международной научно-практической конференции «Современные технологии в АПК» (Гродно, 16 мая 2014 г.). – Гродно, 2014 – С. 118–119.

9–А. Моргунова, Е. М. Максимальная деструкция биополимеров дрожжевой клетки / Е. М. Моргунова, **В. В. Соловьёв**, // Материалы XIII Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в пищевой промышленности» (Минск, 1 – 2 октября 2014 г.). – Минск, 2014 – С. 74–76.

10–А. Моргунова, Е. М. Целесообразность утилизации избыточных пивных дрожжей в пищевых целях / Е. М. Моргунова, **В. В. Соловьёв** // Материалы X-й Международной научной конференции «Техника и технология пищевых производств» (Могилев, 23 – 24 апреля 2015 г.). – Могилев, 2015 – С. 52.

11–А. Моргунова, Е. М. Биотехнологические основы утилизации вторичных биоресурсов пивоварения / Е. М. Моргунова, **В. В. Соловьёв** // Материалы XIV Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в пищевой промышленности» (Минск, 8 – 9 октября 2015 г.). – Минск, 2015 – С. 160–163.

12–А. **Соловьёв, В. В.** Практические основы сушки гидролизата избыточных пивных дрожжей / **В. В. Соловьёв**, Е. М. Моргунова // Техника и технология пищевых производств: тезисы докладов X Международной научно-технической конференции, 28–29 апреля 2016 г., Могилев / Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия»; редкол.: А. В. Акулич (отв. ред.) [и др.]. – Могилев, 2016 – С. 27.

13–А. **Соловьёв, В. В.** Использование гидролизата пивных дрожжей для производства новых функциональных продуктов питания / **В. В. Соловьёв**, Е. М. Моргунова // Материалы XV Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в пищевой промышленности», Минск, 5 – 6 октября 2016 г. / РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»; редкол.: З. В. Ловкис [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2016. – С 231 – 233.

14–А. Кошак, А. Э. Перспективы переработки пивных дрожжей / А. Э. Кошак, А. А. Литвинчук, **В. В. Соловьёв** // Материалы XVI Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в пищевой промышленности», Минск, 5 – 6 октября 2017 г. / РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»; редкол.: З. В. Ловкис [и др.]. – Минск, 2017. – С 58 – 61.

### Патенты, заявки, изобретения

15–А. Способ получения гидролизата дрожжей : пат. ВУ 21956 / З. В. Ловкис, **В. В. Соловьёв**, Е. М. Моргунова. – Оpubл. 30.06.2018.

### Технические нормативно-правовые акты и технологическая документация

16–А. Технические условия «Экстракт дрожжевой» : ТУ ВУ 190239501.923-2021 : утв. Науч.-практ. центр НАН Беларуси по прод. 12.04.2021 : Введ. 20.04.2021 / **В. В. Соловьёв**, Е. М. Моргунова. – Минск, 2021. – 15 с.

17–А. Технологическая инструкция по производству дрожжевого экстракта на основе гидролизата избыточных пивных дрожжей :

ТИ ВУ 190239501.4.647-2021 : утв. Науч.-практ. центр НАН Беларуси по продов. 20.04.2021 : Введ. 20.04.2021 / **В. В. Соловьёв**, Е. М. Моргунова. – Минск, 2021. – 11 с.

18–А. Технологическая инструкция по производству адсорбента микотоксинов на основе клеточных стенок дрожжей : ТИ ВУ 190239501.4.662-2021 : утв. Науч.-практ. центр НАН Беларуси по продов. 20.04.2021 : Введ. 20.04.2021. / **В. В. Соловьёв**, Е. М. Моргунова. – Минск, 2021. – 10 с.

19–А. Рекомендации по общим техническим требованиям и применению дрожжевого экстракта на основе избыточных пивных дрожжей : утв. Науч.-практ. центр НАН Беларуси по продов. 20.04.2021 : Введ. 20.04.2021 / **В. В. Соловьёв**, Е. М. Моргунова. – Минск, 2021. – 8 с.

## РЭЗІЮМЭ

Салаўёў Віталь Уладзіміравіч

### Тэхналогія комплекснай перапрацоўкі залішніх піўных дрожджаў

*Ключавыя словы:* залішнія піўныя дрожджы, дражджавая клетка, ферментныя прэпараты, ферментатыўны гідроліз, дражджавы экстракт, харчовая каштоўнасць, паказчыкі бяспекі, дэструкцыя, адсарбцыйная здольнасць, адсарбенты, мікатаксіны.

*Мэта работы:* атрыманне новых прадуктаў з высокай дабаўленай вартасцю – дражджавога экстракта і мікаадсарбенту, на аснове навукова-абгрунтаванай тэхналогіі перапрацоўкі залішніх піўных дрожджаў як другасных рэсурсаў.

*Матэрыялы і метады даследаванняў:* агульнапрынятыя і спецыяльныя фізіка-хімічныя, мікробіялагічныя, інструментальныя метады ацэнкі і аналізу ўласцівасцей сыравіны, матэрыялаў, дражджавога гідралізату, дражджавога экстракта, клеткавых сценак дражджэй. Эксперыментальныя даныя апрацоўвалі з выкарыстаннем метадаў эксперыментальна-статыстычнага мадэлявання. Даследаванні выконвалі на павераным абсталяванні, якое забяспечвае дакладнасць вынікаў вымярэнняў.

*Атрыманыя вынікі і іх навізна:* упершыню вывучана магчымасць і мэтазгоднасць выкарыстання комплексу ферментаў у складзе  $\alpha$ -амілаза, пратэаза, глюкоамілаза, ліпаза, мананаза для дэструкцыі біяпалімераў дражджавой клеткі. Навукова абгрунтавана і ўстаноўлена аналітычная залежнасць, якая адэкватна апісвае працэс дэструкцыі біяпалімераў дражджавой клеткі ў залежнасці ад масавай канцэнтрацыі сухіх рэчываў дражджавой завесі, працягласці працэсу гідролізу і рН асяроддзя, што дазволіла тэхналагічнымі прыёмамі дасягнуць высокага ўзроўню назапашвання. сценкі дрожджаў і яе адсарбцыйнай здольнасці да вялікамалекулярных мікатаксінаў. Усталяваны рацыянальны выдатак ферментных прэпаратаў на працэс гідролізу біяпалімераў дражджавой клеткі, які дазваляе атрымаць дражджавы экстракт і мікаадсарбент.

*Рэкамендацыі па выкарыстанні:* Распрацавана навукова і эканамічна абгрунтаваная тэхналогія комплекснай перапрацоўкі залішніх піўных дрожджаў, якая дазваляе атрымліваць прадукты з высокай дабаўленай вартасцю - дражджавыя экстракты і высокаэфектыўныя адсарбенты.

Пацверджана эфектыўнасць комплексных угнаенняў з дабаўкамі экстракта дражджавога ў палявых доследах на забруджанай радыенуклідамі дзярнова-падзолістых сувязнасупяшчанай глебе пры апрацоўцы азімых (пшаніца) і яравых збожжавых (ячмень, авёс) культур.

*Галіна ужывання:* піваварная і дражджавая галіны харчовай прамысловасці.

## РЕЗЮМЕ

Соловьёв Виталий Владимирович

### Технология комплексной переработки избыточных пивных дрожжей

*Ключевые слова:* избыточные пивные дрожжи, дрожжевая клетка, ферментные препараты, ферментативный гидролиз, дрожжевой экстракт, пищевая ценность, показатели безопасности, деструкция, адсорбционная способность, адсорбенты, микотоксины.

*Цель работы:* получение новых продуктов с высокой добавленной стоимостью – дрожжевого экстракта и микоадсорбента, на основе научно-обоснованной технологии переработки избыточных пивных дрожжей как вторичных ресурсов.

*Материалы и методы исследований:* общепринятые и специальные физико-химические, микробиологические, инструментальные методы оценки и анализа свойств сырья, материалов, дрожжевого гидролизата, дрожжевого экстракта, клеточных стенок дрожжей. Экспериментальные данные обрабатывали с использованием методов экспериментально-статистического моделирования. Исследования выполняли на поверенном оборудовании, обеспечивающем достоверность результатов измерений.

*Полученные результаты и их новизна:* впервые изучена возможность и целесообразность использования комплекса ферментов в составе  $\alpha$ -амилаза, протеаза, глюкоамилаза, липаза, маннаназа для деструкции биополимеров дрожжевой клетки. Научно обоснована и установлена аналитическая зависимость, адекватно описывающая процесс деструкции биополимеров дрожжевой клетки в зависимости от массовой концентрации сухих веществ дрожжевой суспензии, продолжительности процесса гидролиза и pH среды, что позволило технологическими приемами достичь высокого уровня накопления растворимых сухих веществ в дрожжевом гидролизате при сохранении структуры клеточной стенки дрожжей и её адсорбционной способности к высокомолекулярным микотоксинам.

Установлен рациональный расход ферментных препаратов на процесс гидролиза биополимеров дрожжевой клетки, позволяющий получить дрожжевой экстракт и микоадсорбент.

*Рекомендации по использованию:* Разработана научно и экономически обоснованная технология комплексной переработки избыточных пивных дрожжей, позволяющая получать продукты с высокой добавленной стоимостью – дрожжевые экстракты и высокоэффективные адсорбенты.

Подтверждена эффективность комплексных удобрений с добавками экстракта дрожжевого в полевых опытах на загрязненной радионуклидами дерново-подзолистой связносупесчаной почве при возделывании озимых (пшеница) и яровых зерновых (ячмень, овес) культур.

*Область применения:* пивоваренная и дрожжевая отрасли пищевой промышленности.

## SUMMARY

Solovyov Vitaly Vladimirovich

### Technology of complex processing of excess brewer's yeast

*Key words:* excess brewer's yeast, yeast cell, enzyme preparations, enzymatic hydrolysis, yeast extract, nutritional value, safety indicators, degradation, adsorption capacity, adsorbents, mycotoxins.

*The goal of the work:* obtaining new products with high added value - yeast extract and mycotoxin adsorbent, based on scientifically based technology for processing excess brewer's yeast as secondary resources.

*Research materials and methods:* generally accepted and special physicochemical, microbiological, instrumental methods for assessing and analyzing the properties of raw materials, materials, yeast hydrolyzate, yeast extract, yeast cell walls. Experimental data were processed using the methods of experimental-statistical modeling. The studies were carried out on calibrated equipment, which ensures the reliability of the measurement results.

*Received results and their novelty:* for the first time, the possibility and expediency of using a complex of enzymes consisting of  $\alpha$ -amylase, protease, glucoamylase, lipase, and mannanase for the destruction of yeast cell biopolymers was studied. An analytical dependence has been scientifically substantiated and established that adequately describes the process of destruction of yeast cell biopolymers depending on the mass concentration of dry substances of the yeast suspension, the duration of the hydrolysis process and the pH of the medium, which made it possible to achieve a sufficiently high level of accumulation of soluble solids in the yeast hydrolyzate by technological methods while maintaining the structure of the cell yeast wall and its adsorption capacity for high molecular weight mycotoxins. A rational consumption of enzyme preparations for the process of hydrolysis of yeast cell biopolymers has been established, which makes it possible to obtain a yeast extract adsorbent of mycotoxins.

*Recommendations for use:* A scientifically and economically sound technology for the complex processing of excess brewer's yeast has been developed, which makes it possible to obtain high value-added products - yeast extracts and highly effective adsorbents.

The effectiveness of complex fertilizers with the addition of yeast extract was confirmed in field experiments on radionuclides-contaminated soddy-podzolic cohesive sandy soil when cultivating winter (wheat) and spring grain (barley, oats) crops.

*Application area:* brewing and yeast branches of the food industry.



Подписано в печать 27.11.2023. Формат 60×84 1/16.  
Цифровая печать. Гарнитура Times New Roman.  
Уч.-изд. л. 1,3. Усл. печ. л. 1,5.  
Тираж 75 экз. Заказ 106.

Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет пищевых  
и химических технологий».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распро-  
странителя печатных изданий № 1/272 от 04.04.2014.  
Пр-т Шмидта, 3, 212027, Могилев.

Отпечатано в учреждении образования  
«Белорусский государственный университет пищевых  
и химических технологий».  
Пр-т Шмидта, 3, 212027, Могилев.