

На правах рукописи



ДОЛГОВ Александр Николаевич

**ГЛУБОКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ
С ПОЛУЧЕНИЕМ ЭТИЛОВОГО СПИРТА
И БЕЛКОВОГО ПРОДУКТА**

**05.18.07 – Биотехнология пищевых продуктов
и биологических активных веществ**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

ВОРОНЕЖ – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Агафонов Геннадий Вячеславович
(ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»)

Официальные оппоненты – **Меледина Татьяна Викторовна**
доктор технических наук, профессор
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»,
заведующий кафедрой

Сидякин Максим Эдуардович

кандидат технических наук,
ОАО «Альфа Лаваль Поток»,
коммерческий представитель

Ведущая организация – ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии», г. Москва

Защита состоится «22» декабря 2015 г. в 16 ч 00 мин. на заседании совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 212.035.04 при ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» по адресу: 394036, Воронеж, пр-т Революции, д. 19, конференц-зал.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах), заверенные гербовой печатью учреждения, просим присылать ученому секретарю совета Д 212.035.04.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «ВГУИТ». Полный текст диссертации размещен на сайте ФГБОУ ВО «ВГУИТ» «24» сентября 2015 г. Автореферат размещен в сети Интернет на официальном сайте Министерства образования и науки РФ по адресу: vak2.ed.gov.ru и на официальном сайте ФГБОУ ВО «ВГУИТ» www.vsu.ru «22» октября 2015 г. Автореферат разослан «05» ноября 2015 г.

Ученый секретарь совета по защите
диссертаций на соискание ученой степени
кандидата наук, на соискание
ученой степени доктора наук



М. Е. Успенская

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы:

Сельскохозяйственная отрасль является для России одной из стратегических и стабильно развивающихся. В рамках «Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 – 2020 гг.» (утв. Постановлением Правительства РФ от 14 июля 2012 г. № 717) в подпрограмме «Развитие подотрасли растениеводства, переработки и реализации продукции растениеводства» предусматривается: расширение ассортимента и повышение качества продуктов питания на основе комплексной переработки растениеводческого сырья, рациональное использование вторичных ресурсов и отходов производства.

Анализ состояния отечественной спиртовой отрасли показывает, что на данном этапе основным сдерживающим фактором существенного повышения рентабельности производства является низкая эффективность использования сырья. Поэтому решение проблемы экономии материальных ресурсов должно осуществляться путем внедрения комплексных технологий, предусматривающих переработку зерна с получением нескольких ценных конечных продуктов.

Значительный теоретический и практический вклад в развитие и совершенствование технологий, базирующихся на глубокой переработке зернового сырья в спиртовом производстве, внесли Т.В. Меледина, Л.Н. Крикунова, В.В. Кононенко, Ю.Е. Дубовицкий, В.П. Леденев, Л.В. Римарева, В.А. Поляков.

Повышение эффективности переработки всех составных частей зерна в спиртовом производстве, позволяющих помимо этанола получать дополнительно ценные белковые кормовые продукты, возможно лишь путем применения способов целенаправленного изменения исходных свойств сырья. Поэтому исследования, посвященные разработке таких способов актуальны и перспективны.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с планом НИР кафедры технологии бродильных и сахаристых произ-

водств ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» «Совершенствование технологических процессов бродильных и сахаристых производств с использованием физико-химических, ресурсосберегающих, биохимических методов воздействия и нетрадиционного сырья» (2012 – 2017 гг., № г.р. 114121670054).

Цель исследования: изучение закономерностей влияния ферментных препаратов на различных стадиях получения этилового спирта из концентрированного зернового сусла и обоснование технологии глубокой переработки зернового сырья с получением кормовой белковой добавки и глютена.

В рамках поставленной цели решались следующие задачи:

- исследование распределения основных нутриентов пшеницы в зависимости от механических способов измельчения;
- изучение влияния технологических параметров получения водно-мучнистой суспензии пшеницы на качественный и количественный состав клейковины;
- выбор ферментных препаратов и обоснование их рациональных дозировок для деструкции некрахмальных полисахаридов и снижения вязкости водно-мучнистой суспензии пшеницы и концентрированного сусла;
- обоснование выбора и характеристик процесса протеолиза белкового комплекса концентрированного сусла под действием ферментного препарата Протоферм FP;
- обоснование выбора и дозировок ферментных препаратов разжижающего и осахаривающего действия;
- исследование процесса сбраживания концентрированного зернового сусла под действием дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* рас XII и К-81 т 987-05;
- усовершенствование комплексной технологии получения этанола, глютена и белковой добавки на основе глубокой переработки зерна пшеницы;
- проведение анализа химического состава, пищевой и биологической ценности, функциональных свойств кормовой белковой добавки;

- оценка экономического эффекта при внедрении предлагаемой технологии на предприятиях спиртовой отрасли.

Объектом исследования является технология получения этанола из концентрированного сусла с использованием ферментных препаратов и выделением на отдельных технологических стадиях глютена и белковой добавки, предназначенной для кормовых целей.

Предметом исследования являются технологические параметры получения и переработки концентрированного сусла, глютена и белковой добавки с использованием ферментных препаратов.

Научная концепция работы заключается в обосновании технологии глубокой переработки зернового сырья с получением этанола, кормовой белковой добавки и глютена.

Научные положения, выносимые на защиту:

- целесообразность использования целлюлолитических и протеолитических ферментных препаратов для целенаправленного изменения белкового и углеводного состава водномучнистой суспензии пшеницы, концентрированного сусла и глютена;

- научно обоснованные технологические решения по усовершенствованию безотходной комплексной технологии получения этилового спирта из концентрированного зернового сусла с выделением на отдельных стадиях технологического процесса глютена и получением кормовой белковой добавки;

- целесообразность применения протеолитических ферментных препаратов в дозировке 0,4-0,6 ед. ПС/г белка для получения концентрированного сусла, а также эффективность сбраживания зерновых сред;

- результаты эффективности новой технологии глубокой переработки зернового сырья на этанол, глютен и кормовую белковую добавку.

Научная новизна работы:

- установленные зависимости формирования компонентного состава помолов пшеницы от степени измельчения показали, что в результате двухстадийного измельчения частиц (проход через сито d 0,16-0,25 мм не менее 85 %) суммарное со-

держание крахмала и сахаров на 1,3-1,5 % больше, чем в более грубом помоле;

- обоснованы технологические режимы и параметры получения водно-мучнистой суспензии пшеницы, условия образования клейковины;

- установлены закономерности изменения вязкости водно-мучнистой суспензии пшеницы под действием ферментных препаратов;

- выявлены закономерности изменения фракционного состава белковых веществ в зависимости от продолжительности протеолиза и дозировки ферментного препарата;

- оптимизированы условия проведения процесса ферментативного гидролиза концентрированного суслу на примере ферментного препарата Протоферм FP на основе метода центрального композиционного ротатабельного униформпланирования эксперимента, получены уравнения регрессии описывающие изменение биохимических характеристик протеолиза под влиянием исследуемых факторов;

- доказана целесообразность использования расы 987-05 и внесения ферментных препаратов Протоферм FP и Висколаза 150 L в водно-мучнистую суспензию пшеницы для интенсификации процесса сбраживания концентрированного суслу.

Практическая значимость исследования:

Усовершенствована комплексная безотходная технология глубокой переработки зернового сырья на этанол, глютен и белковую добавку путем целенаправленного воздействия ферментных препаратов на основные компоненты зерна.

Использование предлагаемой технологии получения и сбраживания концентрированного суслу с дополнительным выделением глютена и получением белковой кормовой добавки позволит спиртовым заводам:

- сохранить нормативные показатели по выходу спирта из 1 т условного крахмала - 66,4 дал/т.у.к., сократив при этом общую продолжительность стадий водно-тепловой и ферментативной обработки с 3,5 до 2 ч и дозировку разжижающего ферментного препарата до 1 ед. АС/г условного крахмала;

- интенсифицировать процесс сбраживания сула, сократив продолжительность брожения с 72 до 54 ч, увеличить выход этанола с 9,1 до 11,1 % об., снизить содержание несброженных углеводов с 0,7 до 0,4 г/100 см³, в 1,5-2 раза снизить образование побочных метаболитов;

- получить дополнительно сухой глютен и обогащенную легкоусвояемым протеином белковую добавку, используемую в качестве белкового обогатителя в кормовой промышленности.

Проведена опытно-промышленная апробация новой технологии в условиях спиртового завода ОАО «Новопесчанское».

Разработан и утвержден «Производственно-технологический регламент на получение сухой кормовой барды из цельной зерновой барды».

По результатам опытно-промышленных испытаний рассчитана условно-годовая экономия от внедрения данной технологии, которая для спиртового завода мощностью 6000 дал/сут. составит 10,65 млн. р., срок окупаемости 1,2 года.

Соответствие диссертации паспортам научных специальностей. Диссертационное исследование соответствует пунктам 1,4,5 паспорта специальности 05.18.07 – «Биотехнология пищевых продуктов и биологических активных веществ».

Апробация результатов исследования. Основные положения диссертационной работы были доложены и обсуждены:

- на IV Международной научно-практической конференции "Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков" (Новосибирск, 2013), Международной научно-технической конференции "Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство" (Воронеж, 2013), Международной научно-практической конференции "Перспективы развития науки и образования" (Москва, 2013), Международной научно-практической конференции "Современные тенденции в образовании и науке" (Тамбов, 2013), XIX Всероссийской научно-практической конференции "Стратегия устойчивого развития регионов России" (Новосибирск, 2014), Proceedings of the 1st International Academic Conference "Science and Education in Australia, America and Eurasia: Fundamental and Applied Science" (Australia, Melbourne, 2014), Между-

народной заочной научно-практической конференции «Современные тенденции в науке и образовании» (Москва, 2015).

- отчетных научных конференциях ВГУИТ за 2013-2015 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 20 научных работ, в том числе 4 статьи в журналах, рекомендованных для опубликования основных результатов исследований ВАК Минобрнауки РФ, 2 статьи, опубликованные в международных сборниках, 10 статей в сборниках трудов, 4 тезиса. Подана заявка на изобретение № 2015124225 «Способ переработки зернового сырья с получением этанола, белкового продукта и глютенана».

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, обзора литературы, экспериментальной части, 6 глав, выводов, списка использованных источников из 172 наименований и приложений. Основное содержание работы изложено на 204 страницах машинописного текста, содержит 25 рисунков и 39 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, охарактеризована научная и практическая ценность диссертации. Сформулированы цель и задачи диссертационного исследования.

В первой главе «Анализ современного состояния проблемы» проведен патентно-информационный поиск и обобщены сведения научно-технической литературы о современном состоянии и развитии комплексных технологий переработки зернового сырья с получением нескольких конечных продуктов. Проанализированы перспективы развития технологии переработки суслу с повышенным содержанием сухих веществ при получении этанола.

Уделено особое внимание ферментным препаратам и расам дрожжей, применяемым в спиртовом производстве при переработке высококонцентрированного суслу. На основании проведенного анализа литературы сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе «Организация работы. Объекты и методы исследований» проводили исследования согласно про-

блемно-концептуальной схеме (рисунок 1). В соответствии с целью и задачами работы объектами исследований были:

пшеница с разной степенью измельчения (ГОСТ Р52554-2006 Пшеница. Технические условия). Измельчение осуществлялось на вальцовых станках в два этапа. Степень измельчения составила: проход через сито диаметром 0,16 мм – не менее 85 %, 0,25 мм – 100 %;

водно-мучнистая суспензия пшеницы;

пшеничная клейковина - глютен (ГОСТ Р53511-2009 Глютен пшеничный. Технические условия);

концентрированное сусло с содержанием сухих веществ 20-24 % мас.;

белковая добавка.

В работе использовали ферментные препараты различного действия зарубежного производства (полученные в Институте микробиологии Китайской академии наук), а также три расы дрожжей, используемые в виде чистой культуры: XII, 987-05, К-81.

Экспериментальные исследования проводились на кафедрах ТБиСП, МИП ООО «Сенсорика–Новые технологии» ВГУИТ, в научно-исследовательских лабораториях Испытательного лабораторного центра комбикормов, комбикормового сырья, пищевых продуктов АНО «НТЦ «Комбикорм».

В третьей главе «Исследование состава и свойств водно-мучнистой суспензии пшеницы под действием ферментных препаратов при различной степени измельчения» изучали, как зависит распределение основных компонентов зернового сырья от механических способов измельчения. Механическая обработка сырья – диспергирование – является обязательным условием эффективного применения экономичных и малоэнергоёмких способов водно-тепловой обработки. За счёт тонкого помола зерна при невысокой температуре (45-50 °С) обработки создаются благоприятные условия для активного действия как собственных, так и вносимых ферментов. Степень измельчения оказывает влияние на количественный и качественный состав глютеносодержащего комплекса. На некоторых спиртовых заводах для получения более высокодисперсных и равномерных помолов зерно измельчают в две стадии. Измельчение зерна пшеницы осуществляли на молотковых дробилках, вальцовых станках и двухстадийное измельчение на вальцовых станках.

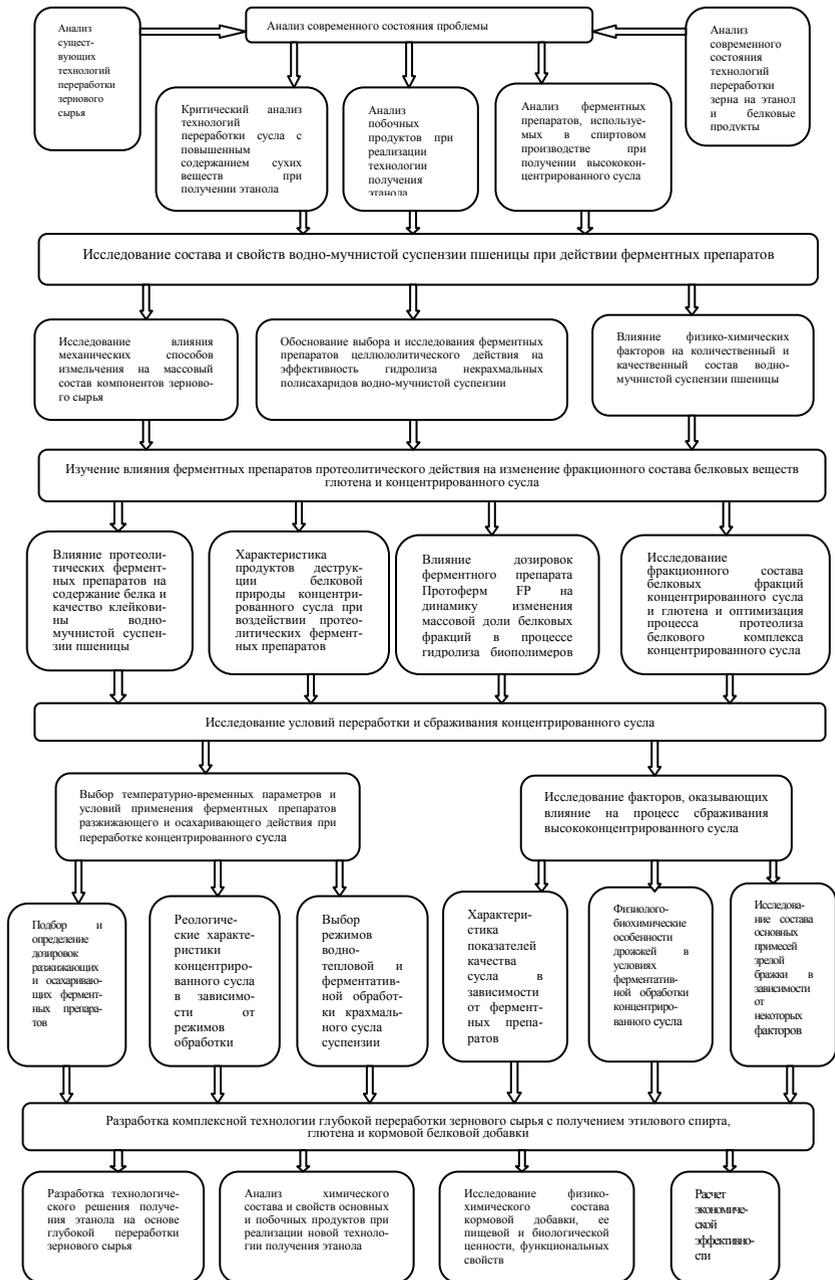


Рисунок 1 – Проблемно-концептуальная схема

Измельченное зерно поступало на трехпозиционных рассев, где частицы (мука) размером 0,16-0,25 мм поступает на производство. При этом отделяются отруби в количестве 20 %.

При двухстадийном измельчении целлюлозы и гемицеллюлозы содержится в 2,5 раза меньше, чем в исходном зерне: 3,01 и 8,1 % соответственно. В результате расщепления целлюлозы образуется дополнительное количество сбраживаемых сахаров – от 1 до 3 % к сухим веществам. В помоле пшеницы, полученном при двухстадийном измельчении, суммарное содержание крахмала и сахаров на 1,3-1,5 % больше, чем их содержание в более грубом помоле. Также происходит расщепление пентозанов до пентоз. Деструкции подвергаются и белковые вещества. Так количество аминного азота увеличивается на 40 % за счет действия собственных протеолитических ферментов. Вероятно, что в результате двухстадийного измельчения частиц (проход через сито d 0,16 мм – не менее 85 %, 0,25 мм – 100 %) пшеницы происходит не только разрушение целостности структуры зерна и его клеток, но и механохимическая деструкция высокомолекулярных соединений.

С целью гидролиза целлюлозы, гемицеллюлоз, β -глюкана, входящих в состав матрикса клеточных стенок, снижения потерь крахмала и деструкции некрахмальных полисахаридов, а также снижения вязкости в водно-мучнистую суспензию пшеницы добавляли ферментные препараты целлюлолитического действия Висколазу 150 L и Целлюкласт 1,5 L, варьируя дозировки от 0,005 до 0,03 % от массы перерабатываемого зерна (таблица 1, 2).

Таким образом, под действием целлюлолитических ферментов происходит последовательный гидролиз некрахмальных полисахаридов матрикса клеточных стенок, образуются продукты гидролиза – поли- и олигосахариды. Наряду с крахмалом происходит диспергирование других высокомолекулярных веществ в составе зерна, в том числе некрахмалистых полисахаридов (целлюлозы и др.), до низкомолекулярных углеводов (глюкозы), что повышает количество сбраживаемых веществ и, как следствие, увеличивает количество получаемого спирта.

Т а б л и ц а 1 – Влияние дозировки ферментного препарата Висколазы 150 L на содержание некоторых компонентов водно-мучнистой суспензии

Содержание исследуемых компонентов	Дозировка Висколазы 150 L, % к массе зерна				
	0,005	0,01	0,02	0,03	Контроль
Крахмал, %.	61,09	60,97	59,7	58,7	62
Целлюлоза, %.	1,87	1,91	1,75	1,62	2,13
Редуцирующие вещества, г/100 см ³ .	7,73	7,95	8,28	8,96	7
Растворимые углеводы, г/100 см ³ .	9,6	11,3	11,43	11,51	7,06
Вязкость, Па·с	124	88	81	74	145

Т а б л и ц а 2 – Влияние дозировки ферментного препарата Целлюкласт 1,5 на состав водно-мучнистой суспензии

Содержание исследуемых компонентов	Дозировка Целлюкласт 1,5, % к массе зерна				
	0,005	0,01	0,02	0,03	Контроль
Крахмал, %.	61,95	61,67	61,53	61,45	62
Целлюлоза, %.	2	1,99	1,84	1,78	2,13
Растворимые углеводы, г/см ³ .	9,2	10,9	11,03	11,12	8,9
Редуцирующие вещества, г/100 см ³ .	7,45	7,56	7,95	8,18	7
Вязкость, Па·с	137	96	88	78	145

В четвертой главе «Изучение влияния ферментных препаратов протеолитического действия на изменение фракционного состава белковых веществ глютена и концентрированного суслу» исследовали фракционный состав и качество пшеничной клейковины, выделенной по предлагаемой технологии, а также белковый состав крахмального суслу при воздействии на него протеолитических ферментных препаратов.

Установлено, что помолы пшеницы характеризуются преобладанием суммы глютениновой и глиадиновой фракции, что говорит о высоком содержании клейковины. Этим и объясняется повышенное содержание клейковины в муке, полученной при двухстадийном измельчении. Оно составило 30 % от массы му-

ки, тогда как при одностадийном измельчении содержание клейковины колеблется в пределах от 25 до 26 %. Альбуминоглобулиновая фракция составила 19-19,0 %. Содержание нерастворимого белка в зависимости от степени измельчения колеблется незначительно: от 8,65 % в помоле, полученном при двухстадийном измельчении до 8,8 % в целом зерне пшеницы.

Были проведены исследования продуктов деструкции биополимеров белковой природы концентрированного суслу при внесении в водно-мучнистую суспензию пшеницы протеолитических ферментных препаратов. Протеолиз осуществляли тремя ферментными препаратами: Нейтраза 0,8 L, Протоферм FP и Амилопротооризин Г10х. Используемая дозировка ферментных препаратов 0,5 ед. ПС/г белка.

Об эффективности процесса протеолиза судили по изменению содержания массовой доли пептидов и аминокислот (рисунок 2). Так, в исходном белковом комплексе содержание растворимого белка составляло - 2,45 мг/см³, тогда как после применения Амилопротооризина Г10Х – 24,8 мг/100 см³, Нейтразы 0,8 L 19,4 мг/100 см³, Протоферма FP 33,0 мг/100 см³.

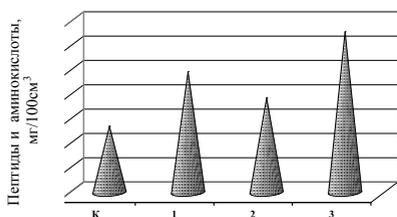


Рисунок 2 - Сравнительный гидролиз белкового комплекса различными препаратами: К - до гидролиза; 1 - Амилопротооризин Г10Х; 2- Нейтраза 0,8 L; 3- Протоферм FP

Методом гель-фильтрации определяли количественное и качественное соотношение белковых фракций с различным молекулярным весом (рисунок 3).

В качестве протеолитических ферментных препаратов использовали Нейтразу 0,8 L, Амилопротооризин Г 10х, Протоферм FPс дозировкой 0,6 ед. ПС/г белка.

Фракционирование осуществляли на сефадексе G – 100 (средний диаметр частиц 40...120 мкм) с пределами фракционирования 3500...150 000 Да.

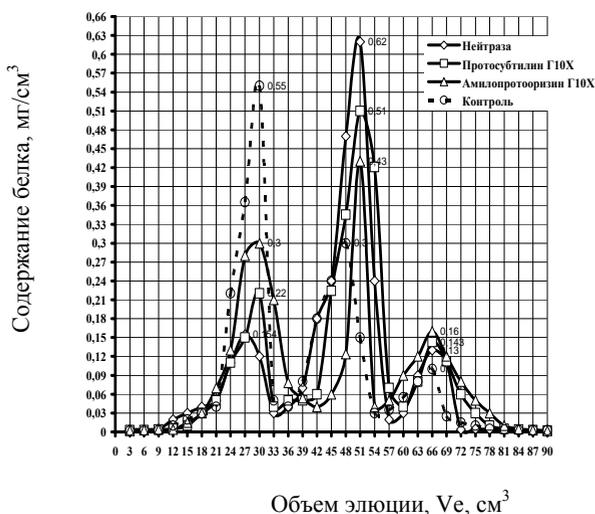


Рисунок 3 – Гель-хроматограмма белкового комплекса водно-мучнистой суспензии пшеницы через сефадекс G – 100 при воздействии протеолитических ферментных препаратов

Выявили, что применение протеаз обеспечивает изменение фракционного состава белкового комплекса водно-мучнистой суспензий пшеницы.

Эффективность гидролиза белка водно-мучнистой суспензий пшеницы под действием Протоферм FP составила 43,1 % (M_r 10000-500000) и 45 % ($M_r < 10000$); Нейтразы 0,8L – 50,3 % (M_r 10000-500000) и 31,4 % ($M_r < 10000$); Амилопротооризина Г10Х – 54,0 % ($M_r < 10000$) и 41,8 % (M_r 10000-500000).

Для выявления оптимальных условий проведения протеолиза белкового комплекса концентрированного суслу изучали влияние некоторых технологических параметров на его основные биохимические характеристики. При этом определяли оптимальные продолжительность – X2 и температуру протеолиза – X1, а также дозировку протеолитического ферментного препарата Протоферм FP – X3.

Изучение влияния различных условий процесса протеолиза на его основные биохимические характеристики осуществляли с применением метода центрального композиционного ротатбельного униформпланирования эксперимента. Критериями

оценки были выбраны следующие параметры: Y1 – содержание растворимого белка, мг/см³; Y2 – суммарное содержание пептидов и аминокислот, мг/100 см³; Y3 – содержание аминокислоты тирозина, мкмоль/см³.

В ходе статистической обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии, адекватно описывающие изменение биохимических характеристик протеолиза под влиянием исследуемых факторов:

$$Y_1 = 4,32717 - 0,18306 \cdot X_1 + 0,122 \cdot X_2 + 0,417 \cdot X_3 + 0,178 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,341 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,154 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,6021 \cdot X_1^2 - 0,306 \cdot X_2^2 + 0,493 \cdot X_3^2; \\ X_{1S} = -0,298; X_{2S} = -0,372; X_{3S} = 0,374; Y_S = 2,908; \quad (1)$$

$$Y_2 = 29,577 - 0,712 X_1 + 0,676 X_2 + 0,877 X_3 + 0,915 X_1 X_2 - 2,242 X_1 X_3 - 0,825 X_2 X_3 - 0,799 X_1^2 - 0,922 X_2^2 + 1,341 X_3^2; \\ X_{1S} = -0,085; X_{2S} = -0,398; X_{3S} = 0,096; Y_S = 28,964224; \quad (2)$$

$$Y_3 = 0,4953 - 0,006 X_1 + 0,003 X_2 + 0,007 X_3 + 0,007 X_1 X_2 - 0,031 X_1 X_3 - 0,010 X_2 X_3 - 0,002 X_1^2 + 0,003 X_2^2 + 0,008 X_3^2; \\ X_{1S} = -0,966; X_{2S} = 4,514; X_{3S} = 1,312; Y_S = 0,526333. \quad (3)$$

Исходя из полученных данных, были найдены оптимальные технологические параметры процесса протеолиза белкового комплекса концентрированного сусла под действием ферментного препарата Протоферм FP, которые позволяют получить наилучшие биохимические характеристики процесса (таблица 3).

Т а б л и ц а 3 – Оптимальные характеристики процесса протеолиза белкового комплекса концентрированного сусла под действием ферментного препарата Протоферм FP

Наименование параметров	Показатели процесса
Температура протеолиза, °С	53...56
Продолжительность, мин	18...20
Дозировка препарата, ед. ПС/г белка	0,4-0,6

В пятой главе «Исследование процесса переработки и сбраживания концентрированного сусла» проводили исследования по выбору ферментных препаратов амилолитического действия, предназначенных для получения крахмалистого сусла с повышенным содержанием сухих веществ после выделения из него клейковины. Эксперименты проводились на двух образцах

сусла. Зависимость изменения редуцирующих веществ представлена на рисунке 4.

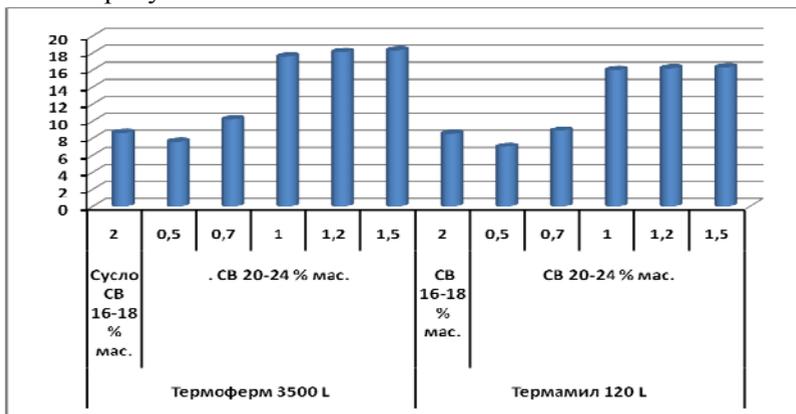


Рисунок 4 - Зависимость содержания редуцирующих веществ сусла от дозировок разжижающих ферментных препаратов

Использование в качестве разжижающего препарата Термоферм 3500 L в дозировке 0,5 ед. АС/г у.к. позволяет повысить содержание общих редуцирующих веществ по сравнению с суслим, полученным по стандартной технологии, на 20–35 %.

Кроме физико-химических показателей сусла, в процессе переработки сырья необходимо учитывать его реологические характеристики, которые в работе оценивали по времени истечения сред.

В качестве варьируемых факторов были выбраны: сокращение первой паузы ($t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$) с 30 мин до 0 мин; сокращение второй паузы ($t = 70\text{--}75\text{ }^{\circ}\text{C}$) с 120 до 60 мин; сокращение третьей паузы ($t = 80\text{--}95\text{ }^{\circ}\text{C}$) с 60 до 30 мин.

В целом результаты изучения реологических характеристик в ходе получения крахмального сусла позволили предложить эффективный, простой технологический прием для снижения вязкости сред, а именно, повышение температуры воды при замесе с 50 до 70 $^{\circ}\text{C}$ (таблица 4).

Сравнивали основные показатели качества бражки, полученной по предполагаемой и классической технологии, при варьировании дозировок осаживающих ферментных препаратов от 2 до 8 ед. ГЛА/г. у.к.

Т а б л и ц а 4 – Зависимость текучести крахмального сусла от продолжительности гидродинамической и ферментативной обработки

τ _{общ.} , мин	Длительность пауз, мин			Текучесть крахмального сусла, с					
				Термоферм 3500 L			Термамил 120 L		
	Пауза 1 (τ=50 °С)	Пауза 2 (τ=70 °С)	Пауза 3 (τ=80-95 °С)	Пауза 1	Пауза 2	Пауза 3	Пауза 1	Пауза 2	Пауза 3
210	30	120	60	32,9	20,6	16,2	35,3	24,4	17,7
180	-	120	60		18,4	13,5		21,8	14,0
120	-	60	60		17,2	9,8		19,7	11,2
90	-	60	30		17,4	14,8		20,0	15,7

Осахаривание осуществляли при температуре 56-58 °С в течение 30 мин, в качестве осаживающих ферментных препаратов использовали Биозим 800 L и Сан Супер 360 L.

Процесс сбраживания проводили при температуре 28-30 °С в течение 48-72 ч. Сбраживание осуществляли с использованием дрожжей расы XII, норма внесения дрожжей составляла 15 млн/см³.

Применение осаживающего ферментного препарата Биозим 800 L позволяет понизить количество растворенных несброженных углеводов с 0,41 до 0,27 г/100 см³, количество нерастворенного крахмала понижается с 0,171 до 0,098 г/100 см³, а концентрацию спирта повысить с 8,3 до 9,1 % об.

Исследовали процесс сбраживания концентрированного сусла в зависимости от дозировки осаживающего ферментного препарата Биозим 800 L. В процессе брожения определяли динамику выделения СО₂ (рисунок 5). Препарат Биозим 800 L, вносили в дозировке 5-8 ед. ГЛА/г у.к.

Так, при использовании ферментного препарата Биозим 800 L в дозировке 8,0 ед. ГЛА/г брожение заканчивается к 55 ч (рисунок 5). Использование препарата способствует повышению физиологической активности дрожжей и улучшению показателей сбраживания сусла.

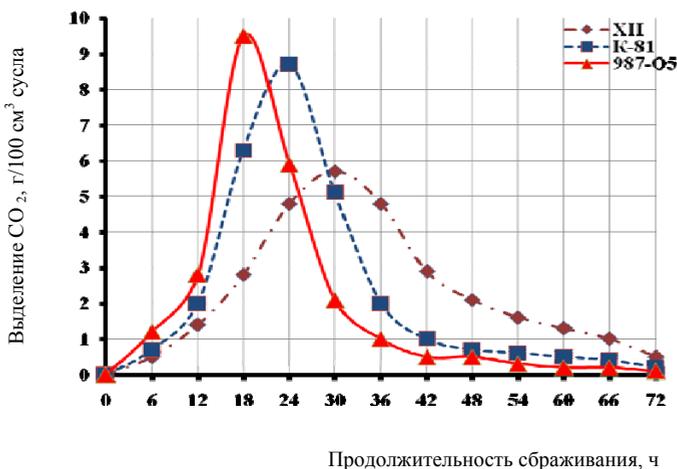


Рисунок 5 - Зависимость выделения углекислого газа от продолжительности сбраживания различных дозировок ферментного препарата Биозим 800 L

Это объясняется тем, что бражка обогащена водорастворимыми фракциями белка, а также аминокислотами, витаминами, макро- и микроэлементами, что позволяет интенсифицировать процесс брожения с 72 до 54 ч, так как дрожжи обогащены дополнительным азотным питанием.

Было изучено влияние рас дрожжей и нормы их засева на крепость бражки (таблица 5).

Процесс сбраживания проводили при температуре 30–35 °С в течение 48-72 ч. Для сбраживания высококонцентрированного сула были использованы следующие расы дрожжей: термотолерантные расы XII, К-81 и гибридные расы дрожжей 987- О5, используемые в виде чистой культуры.

Установлено, что при использовании расы дрожжей 987-О5 и К-81 в бражке накапливается от 9,5 до 11,18 % об. этилового спирта, что превышает показатели (от 8,2 до 10,46 % об.), полученные в бражке с использованием расы XII. Максимальное количество спирта обнаружено для образцов, полученных при засеве дрожжей 15,0, 17,5 млн клеток на 1 см³ сула – 10,45, 11,15 и 11,18 % об. соответственно.

Т а б л и ц а 5 – Динамика накопления этилового спирта при сбраживании сусла дрожжами расы XII, К-81 и 987-05

Раса дрожжей	Норма засева дрожжей, млн клеток на 1 см ³				
	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0
	Крепость дистиллята, % об				
XII	8,2	9,1	9,9	10,45	10,46
987-05	9,8	10,55	11,10	11,15	11,17
К-81	9,5	10,44	11,15	11,18	11,19

Выявлено, что термотолерантная раса 985-05 более активно размножалась, интенсивно ассимилировала углеводы, и уже к 54-60 ч брожения процесс был практически прекращен: выход спирта составил 66,6 см³/100 г крахмала, к 66 ч - 66,9 см³/100 г. При использовании расы К-81 и XII выход целевого продукта за этот же период был на уровне 66,2 см³/100 г крахмала и 65,2 см³/100 г соответственно. Причем максимальный выход спирта наблюдали при использовании сусла с внесением Протоферма FP и Висколазы 150 L.

Изучали динамику сбраживания сусла дрожжами расы XII, К-81, 957-05. В ходе сбраживания исследовали изменение несброженных углеводов и этанола. Полученные данные приведены на рисунках 6, 7.

Установлено, что при использовании XII расы процесс сбраживания идет с увеличением накопления спирта в бражке на протяжении всего времени исследований и достигает своего максимума к 60-66 ч - 10,7 % об., тогда как при использовании рас 987-05 и К-81 наивысшее содержание спирта достигается в бражке к 54 ч сбраживания – 11,12 и 11,1 % об. соответственно.

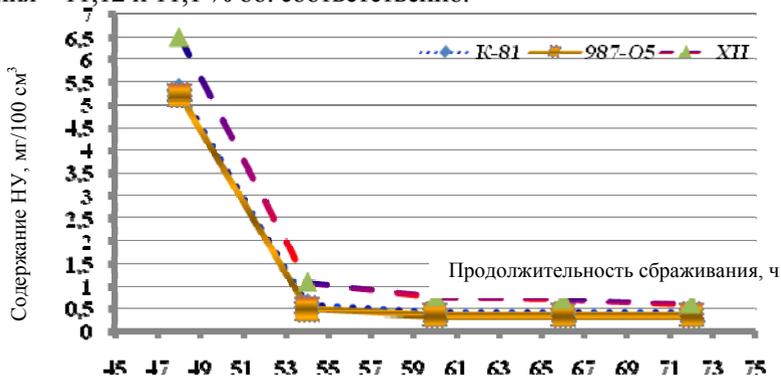


Рисунок 6 - Зависимость содержания несброженных углеводов в бражке от расы дрожжей

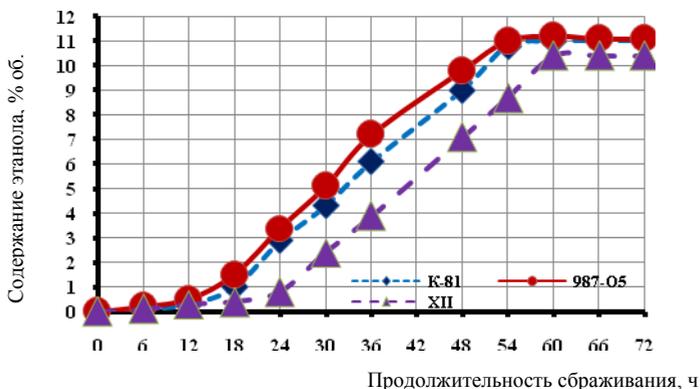


Рисунок 7 - Изменение концентрации этанола в бражке в зависимости от расы дрожжей

В шестой главе «Разработка комплексной технологии глубокой переработки зернового сырья с получением этилового спирта, глютена и кормовой белковой добавки» на основании исследований была разработана комплексная ресурсосберегающая технология глубокой переработки зернового сырья на этанол, глютен и кормовую белковую добавку (рисунок 8).

Дрожжевой концентрат направляют в плазмоллизатор 8 с целью обезвреживания концентрата и облегчения последующей сушки, откуда он поступает в сборник дрожжевого концентрата 9, откуда его подают на распылительную сушилку 10, где дрожжевой концентрат смешивается с отрубями из сборника отрубей 11. В результате высушивания получают белковую добавку с влажностью 8-10 %, обогащенную легкоусвояемым белком (содержание протеина не менее 25 %). Полученную добавку направляют в накопительный бункер 12. С помощью шнекового дозатора 13 добавка поступает в гранулятор 14. Сформированные гранулы с помощью нории 15 подаются в охладитель гранул 16, после чего на вибрационный просеиватель 17, где сортируются по размеру. Полноценные гранулы поступают на автоматические весы 18, а полученный после просеивания отсев снова направляется в накопительный бункер 12. После взвешивания гранулы упаковываются на упаковочной машине 19 и с помощью автомобилепогрузчика 20 отправляются на склад готовой продукции, а далее к потребителю.

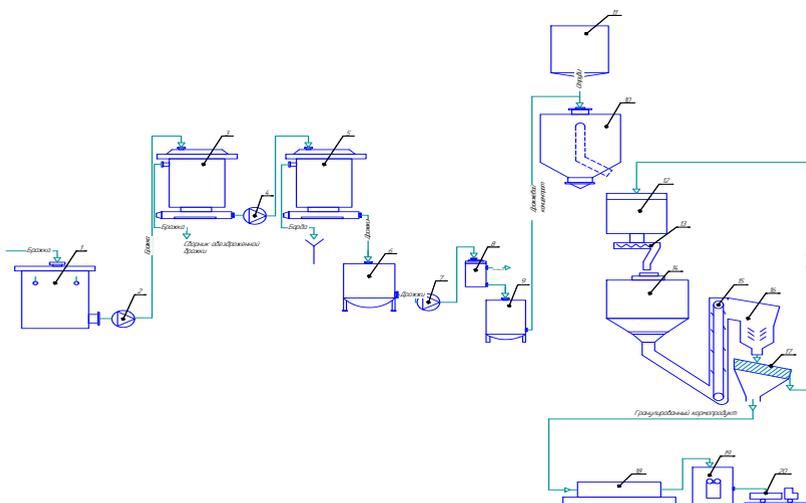


Рисунок 8 - Аппаратурно-технологическая схема получения кормовой белковой добавки

Исследовав физико-химический состав, а также пищевую и биологическую ценность белковой добавки, полученной по инновационной технологии, выявили, что по всем показателям она соответствует требованиям, предъявляемым к кормовым продуктам.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Выявлено, что в результате двухстадийного измельчения частиц (проход через сито d 0,16-0,25 мм не менее 85 %) пшеницы происходит не только разрушение целостности структуры зерна и его клеток, но и механохимическая деструкция высокомолекулярных соединений.

2. Установлено, что под действием целлюлолитических ферментов происходит последовательный гидролиз некрахмальных полисахаридов до низкомолекулярных углеводов (глюкозы). Так, при использовании ферментного препарата Целлюкласт 1,5 L количество редуцирующих сахаров увеличилось на 3-5 %, крахмала снизилось на 1-3 %, целлюлоза гидролизовалась на 10-15 %, количество растворимых углеводов возросло –на 2-5 %.

3. Выявлено, что обработка водно-мучнистой суспензии пшеницы ферментными препаратами протеолитического действия обеспечивает изменение фракционного состава белкового комплекса как водно-мучнистой суспензий пшеницы, так и концентрированного суслу. При этом концентрированное сусло обогащается аминным азотом, качество пшеничной клейковины не ухудшается.

4. Установлены оптимальные технологические параметры, позволяющие в процессе гидролиза получить максимальное количество растворимого белка, пептидов и аминокислот, тирозина. Так, температура протеолиза составила 53-56 °С, продолжительность воздействия 18-20 мин, дозировка ферментного препарата 0,4-0,6 ед. ПС/г белка.

5. Определены факторы, влияющие на процесс получения концентрированного суслу по предлагаемой технологии. Показано, для достижения требуемых реологических характеристик суслу водно-тепловая обработка должна начинаться с 70 °С. В качестве ферментного препарата разжижающего действия рекомендован ферментный препарат Термоферм 3500 L в дозировке 1 ед. АС/г условного крахмала. Выявлены режимы получения суслу, обеспечивающие снижение общей продолжительности стадий водно-тепловой и ферментативной обработки с 3,5 до 2 ч.

6. Определено влияние различных факторов на процесс сбраживания концентрированного суслу после выделения глютенa. Доказано, что использование расы 987-О5 и внесение протеолитических ферментных препаратов Протоферм FP и Висколаза 150 L в водно-мучнистую суспензию пшеницы позволяет сократить длительность брожения с 72 до 54 ч, увеличить выход этанола до с 9,1 до 11,1 % об., снизить содержание несброженных углеводов с 0,7 до 0,4 г/100 см³, а также в 1,5-2 раза снизить образование побочных метаболитов, сопутствующих синтезу этанола, и повысить концентрацию аминного азота в сусле в 2 раза.

7. Получена обогащенная легкоусвояемым протеином белковая добавка с содержанием протеина не менее 30 %.

8. Усовершенствована технология этанола из концентрированного зернового суслу с выделением на отдельных стадиях технологического процесса глютенa и получением кормовой белковой добавки путем глубокой переработки зернового сырья.

9. Проведены опытно-промышленные испытания новой технологии в условиях ОАО «Новопесчаское». Условно-годовая экономия от снижения себестоимости продукции для завода мощностью 6000 дал/сут составила 10,65 млн р.

Основные публикации по диссертационной работе Статьи в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. Агафонов, Г.В. Изучение количественного и качественного белкового состава послеспиртовой зерновой барды [Текст] / Г.В. Агафонов, Н.В. Зуева. Л.В. Клинова, А.Н. Долгов // Производство спирта и ликероводочных изделий. – 2013.- № 4.– С. 30-33. – **0,25 п. л. (лично автором 0,05 п. л.)**.

2. Долгов, А.Н. Основные экологические проблемы при утилизации отходов спиртового производства и пути их решения [Текст] / А.Н. Долгов, Г.В. Агафонов, Н.В. Зуева // Пиво и напитки безалкогольные и алкогольные, соки, вино, спирт. – 2014.- № 4.– С. 60-63. . – **0,25 п. л. (лично автором 0,05 п. л.)**.

3. Долгов, А.Н. Выбор способа измельчения зернового сырья при разработке технологии получения этанола [Текст] / А.Н. Долгов, Г.В. Агафонов, Н.В. Зуева, С.А. Шенцева // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2014.- № 8.– С. 13-15.– **0,18 п. л. (лично автором 0,04 п. л.)**

4. Долгов, А.Н. Влияние технологических параметров на состав и реологические свойства замесов из пшеничной муки [Текст] / А.Н. Долгов, Г.В. Агафонов, Н.В. Зуева, В.А. Вертепова, М.О. Рубцова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2014.- № 9.– С. 10-12. – **0,18 п. л. (лично автором 0,05 п. л.)**.

Статьи и материалы конференций

5. Долгов, А.Н. Разработка комплексных ресурсосберегающих технологий утилизации отходов бродительных производств [Текст] / А.Н. Долгов, Н.В. Зуева, Г.В. Агафонов // Материалы Международной научно-технической конференции "Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство". – Воронеж, 2013. – С.565-570.– **0,37 п. л. (лично автором 0,06 п. л.)**.

6. Зуева, Н.В. Сравнительный анализ технологий по утилизации отходов на спиртовых и пивоваренных заводах [Текст] / Н.В. Зуева, А.Н. Долгов, Г.В. Агафонов // Материалы Международной научно-практической конференции "Перспективы развития науки и образования" в 7 частях. Ч. 4. – М., 2013. – С. 46-47. – **0,12 п. л. (лично автором 0,06 п. л.)**.

7. Долгов, А.Н. Особенности глубокой переработки зернового сырья в спиртовой промышленности [Текст] / А.Н. Долгов, Н.В. Зуева // Материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции "Стратегия устойчивого развития регионов России". - Новосибирск, 2014. - С. 96-98. – **0,12 п. л. (лично автором 0,06 п. л.)**.

8. Агафонов, Г.В. Влияние некоторых технологических факторов при переработке зернового сырья на содержание основных нутриентов при разработке технологии глубокой переработки зерна на этанол, клейковину и белковую добавку [Текст] / Г.В. Агафонов, Н.В. Зуева, А.Н. Долгов // Proceedings of the 1st International Academic Conference "Science and Education in Australia, America and Eurasia: Fundamental and Applied Science" / Australia, Melbourne, 2014. – С. 187-190. – **0,18 п. л. (лично автором 0,06 п. л.)**.

9. Агафонов, Г.В. Влияние ферментных препаратов целлюлолитического действия на эффективность гидролиза некрахмальных полисахаридов и вязкостные характеристики водно-мучнистой суспензии пшеницы при разработке комплексной ресурсосберегающей технологии глубокой переработки зернового сырья [Текст] / Г.В. Агафонов, Н.В. Зуева, А.Н. Долгов // British Journal of Science, Education and Culture, 2014, No. 1(5), (January-June). Volume IV. «London University Press». / London, 2014. – С. 67-72. . – **0,37 п. л. (лично автором 0,06 п. л.)**.

10. Долгов, А.Н. Изучение фракционного состава белковых веществ пшеницы при разработке комплексной ресурсосберегающей технологии глубокой переработки зернового сырья на этанол [Текст] / А.Н. Долгов, Г.В. Агафонов, Н.В. Зуева // Материалы IV Международной научно-технической конференции "Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений". – Воронеж: ВГУИТ, 2014. – С. 120-124. . – **0,31 п. л. (лично автором 0,06 п. л.)**.

11. Долгов, А.Н. Зависимость фракционного состава белковых веществ от степени измельчения пшеницы при разработке комплексной ресурсосберегающей технологии глубокой переработке зернового сырья на этанол [Текст] / А.Н. Долгов, Г.В.

Агафонов, Н.В. Зуева // Материалы Международной научно-технической конференции "Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение". – Воронеж: ВГУИТ, 2014. – С. 37-42. – **0,37 п. л. (лично автором 0,06 п. л.)**.

12. Долгов, А.Н. Зависимость показателей зрелой бражки от дозировок осаживающих ферментных препаратов [Текст] / А.Н. Долгов, Г.В. Агафонов, Н.В. Зуева, В.А. Вертепова, М.О. Рубцова, К.П. Попова // Материалы Международной научно-практической конференции «Инновационные решения при производстве продуктов питания из растительного сырья». – Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2014. – С. 149 – 153. – **0,31 п. л. (лично автором 0,06 п. л.)**.

13. Долгов, А.Н. Влияние различных дозировок протеолитических ферментных препаратов на белковый состав водно-мучнистой суспензии пшеницы [Текст] / А.Н. Долгов, Г.В. Агафонов, Н.В. Зуева, К.П. Попова // Материалы Международной заочной научно-практической конференции «Современные тенденции в науке и образовании». в 5 частях. Часть III. -М.: «АР-Консалт», 2015. – С. 28–29. – **0,13 п. л. (лично автором 0,06 п. л.)**.

14. Долгов, А.Н. Особенности получения высококонцентрированного суслу в спиртовом производстве [Текст] / А.Н. Долгов, Г.В. Агафонов, Н.В. Зуева, М.О. Рубцова // Перспективы развития науки и образования: сборник научных трудов в 13 частях. Ч.1. - Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. –С. 69-70. – **0,12 п. л. (лично автором 0,06 п. л.)**.

Патент РФ

15. Подана заявка на изобретение № 2015124225 «Способ переработки зернового сырья с получением этанола, белкового продукта и глютена». [Текст] / А.Н. Долгов, Г.В. Агафонов, Н.В. Зуева, С.А. Веретенников; заявлено 22.06.2015.

Подписано в печать 21.10.2015. Формат 60X84/16
Усл. п.л. 1,0 Тираж 100 экз. Заказ 127

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет
инженерных технологий»
Отдел полиграфии ФГБОУ ВО «ВГУИТ»
Адрес университета и отдела полиграфии:
394036, Воронеж, пр. Революции, 19